

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**SIMULAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E  
OTIMIZAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO DE  
RITCHIE COM CLUSTERS DE BANCOS DE DADOS**

**ROBERTO BENEDITO DE OLIVEIRA PEREIRA**

**PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS  
ORIENTADOR**

**PROF. DR. MARCELO SACARDI BIUDES  
CO-ORIENTADOR**

**Cuiabá, MT, junho de 2009**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**SIMULAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E  
OTIMIZAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO DE  
RITCHIE COM CLUSTERS DE BANCOS DE DADOS**

**ROBERTO BENEDITO DE OLIVEIRA PEREIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Física Ambiental da  
Universidade Federal de Mato Grosso,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Física Ambiental.

**PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS  
ORIENTADOR**

**PROF. DR. MARCELO SACARDI BIUDES  
CO-ORIENTADOR**

**Cuiabá, MT, junho de 2009**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Título:

Autor: **ROBERTO BENEDITO DE OLIVEIRA PEREIRA**

Dissertação defendida e aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 200\_\_, pela  
comissão julgadora:

---

---

---

---

## **DEDICATÓRIA**

Agradeço a Deus por ter me dado a vida e a paciência necessária para cumprir todas as metas e objetivos demandado por este curso de mestrado

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus;

Ao Prof. Dr. Carlo Ralph de Musis, pela orientação concedida, pelo incentivo, empenho, dedicação, paciência e pela amizade, fatores que contribuíram e incentivaram a produção deste material;

Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes, pela co-orientação deste trabalho, orientação está que foi de suma e imprescindível importância para a grandeza e riqueza de detalhes aqui mencionamos e estruturados;

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pelo apoio, incentivo e confiança a mim depositados e por ser um grande amigo;

A Prof. Dra. Claudia Aparecida Martins e Prof. Dr. Josiel Maimone de Figueiredo por contribuírem com seus conhecimentos e ajudaram a abrilhantar esta dissertação;

A meu pai Joaquim Benedito Lopes Pereira e a Minha mãe Wânia Guilherma de Oliveira Pereira ao qual dedico este trabalho;

A todos os professores do Programa de Mestrado em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, onde transmitiram seus conhecimentos;

Aos técnicos pela dedicação, ajuda e orientação na realização dos ensaios e empréstimos dos laboratórios;

À Soilce pela colaboração nos serviços da secretaria que nos auxiliou para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao CNPq e FAPEMAT pelo auxílio financeiro;

A todos os colegas de curso que ajudaram em muito, os quais se tornaram grandes amigos.

## EPÍGRAFES

*“Nossos atos e vontades refletem no que  
somos hoje e no que seremos amanhã”*

*(Roberto Benedito)*

## SUMÁRIO

|                                             |      |
|---------------------------------------------|------|
| DE .....                                    | I    |
| DE .....                                    | III  |
| DE ABREVIATURAS E .....                     | IV   |
| .....                                       | VII  |
| .....                                       | VIII |
| . ..                                        | 1    |
| .1 ..                                       | 1    |
| .2 ..                                       | 2    |
| . <b>FUNDAMENTAÇÃO</b> .....                | 3    |
| .1 ANÁLISE DE .....                         | 3    |
| .1.1 Levantamento de Requisitos de um ..... | 5    |
| .1.2 Diagrama de Caso de .....              | 6    |
| .1.3 Diagrama de .....                      | 7    |
| .1.4 Diagrama de Entidade e .....           | 8    |
| .1.4.1 Componentes do Modelo de .....       | 8    |
| .1.5 .....                                  | 11   |
| .1.5.1 1º Forma Normal – .....              | 11   |
| .1.5.2 2º Forma Normal – .....              | 12   |
| .1.5.3 3º Forma Normal – .....              | 12   |
| .1.5.4 4º Forma Normal – .....              | 12   |
| .1.5.5 5º Forma Normal – .....              | 13   |
| .1.6 Dicionário de .....                    | 13   |
| .2 MODELAGEM POR SISTEMAS .....             | 14   |
| .2.1 .....                                  | 14   |
| .3 ..                                       | 16   |
| .3.1 .....                                  | 16   |
| .4 CLUSTER DE BANCO DE .....                | 19   |
| .4.1 Cluster de banco de dados com .....    | 20   |
| .5 ..                                       | 21   |
| .5.1 .....                                  | 21   |

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| .5.2                                                          | 23        |
| .5.3 Evapotranspiração                                        | 23        |
| .5.4 Evapotranspiração                                        | 24        |
| .5.5 Evapotranspiração de                                     | 24        |
| .5.6 Balanço Hídrico do                                       | 25        |
| .5.7 Métodos para estimar a                                   | 26        |
| .5.7.1 Método da Razão de                                     | 26        |
| .5.7.2 Método de                                              | 26        |
| <b>. MATERIAIS E</b>                                          | <b>28</b> |
| .1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA                                        | 28        |
| .2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DA RAZÃO DE 30 |           |
| .3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MODELO DE             | 31        |
| .3.1 Estimativa do Índice de Área                             | 34        |
| <b>.4 DOCUMENTAÇÃO DO</b>                                     | <b>36</b> |
| .4.1 Levantamento de                                          | 36        |
| .4.1.1 Visão                                                  | 36        |
| .4.1.2                                                        | 37        |
| .4.1.3 Requisitos                                             | 37        |
| .4.1.4 Requisitos não                                         | 37        |
| .4.2 Diagrama de Caso de                                      | 38        |
| .4.3 Diagrama de                                              | 39        |
| .5 CLUSTER DE BANCO DE                                        | 39        |
| .5.1 CONFIGURAÇÃO DE HARDWARE E SISTEMA                       | 40        |
| .5.2 Estrutura da                                             | 41        |
| .5.3 Forma de conexão ao                                      | 41        |
| .6 PROGRAMA DE MODELAGEM POR SISTEMAS DINÂMICOS –             | 42        |
| .7 OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE                                    | 42        |
| <b>. RESULTADOS E</b>                                         | <b>44</b> |
| .1 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS                               | 44        |
| .1.1                                                          | 44        |
| .1.2 Radiação solar                                           | 45        |
| .1.3 Temperatura do ar e umidade                              | 46        |
| .1.4 Índice de Área                                           | 48        |
| .2 BANCO DE DADOS DA ESTAÇÃO                                  | 49        |
| .3 SIMULAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MODELO DE              | 50        |
| .4 RESULTADOS DA                                              | 55        |
| .5 ANÁLISE DE                                                 | 58        |
| <b>. 60</b>                                                   | <b>60</b> |



|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b>. REFERENCIA .....</b>                                     | <b>61</b>  |
| .1 BIBLIOGRAFIAS .....                                        | 61         |
| .2 BIBLIOGRAFIAS .....                                        | 63         |
| .....                                                         | <b>64</b>  |
| <b>A - PROJETO DE BANCO DE .....</b>                          | <b>64</b>  |
| .1 ..                                                         | 64         |
| .2 MODELO .....                                               | 64         |
| .3 MODELO .....                                               | 65         |
| .3.1 Diagrama .....                                           | 65         |
| .3.2 Dicionário de .....                                      | 65         |
| .4 MODELO .....                                               | 68         |
| <b>B – CLUSTER DE BANCO DE DADOS – MYSQL – COM 3 .....</b>    | <b>71</b>  |
| .1 Configuração do .....                                      | 71         |
| .1.1 Instalação e configuração do Linux .....                 | 71         |
| .1.2 Instalação e configuração do Cluster .....               | 81         |
| .1.2.1 Configuração do Servidor 1 - .....                     | 82         |
| .1.2.2 Configuração do Servidor 2 – nod1 e Servidor 3 – ..... | 83         |
| .1.2.3 Verificando as conexões com o .....                    | 84         |
| .2. Teste no Cluster e importação da Base da .....            | 86         |
| <b>C - CÓDIGO DA MODELAGEM NO .....</b>                       | <b>89</b>  |
| .1 – Código fonte do arquivo ritchi. ....                     | 89         |
| .2 – Código fonte do arquivo ritchi. ....                     | 93         |
| <b>D - MODELAGEM DE SISTEMAS NO .....</b>                     | <b>94</b>  |
| .1 .....                                                      | 94         |
| .2 Sobre o .....                                              | 94         |
| .3 Modelagem no .....                                         | 95         |
| .4 Conectando o Vensim a arquivos do .....                    | 97         |
| .4.1 .....                                                    | 97         |
| .4.2 .....                                                    | 97         |
| .5 Conectando o Vensim a Base de Dados via .....              | 98         |
| .5.1 Instalando e configurando o .....                        | 98         |
| .5.2 Criando o arquivo .....                                  | 98         |
| .5.2.1 Padrão de tabelas utilizado pelo .....                 | 102        |
| .5.2.2 .....                                                  | 103        |
| .5.2.3 .....                                                  | 103        |
| .5.2.4 Lista das .....                                        | 103        |
| <b>E – CD COM ARTIGOS E MATERIAIS UTILIZADOS NESTA .....</b>  | <b>104</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 - Representação gráfica de um Diagrama de Entidade - .....                                                                                       | 8  |
| 2 – Representação gráfica de .....                                                                                                                 | 9  |
| 3 - Modelos de representações gráficas da quantidade de ocorrências de um relacionamento.....                                                      | 10 |
| 4 - Esquema do conjunto de etapas do processo de simulação.....                                                                                    | 19 |
| 5 - Torre micrometeorológica .....                                                                                                                 | 28 |
| 6 - Diagrama esquemático da torre micrometeorológica .....                                                                                         | 29 |
| 7 - Diagrama de Caso de Uso do modelo de evapotranspiração de .....                                                                                | 38 |
| 8 - Diagrama de Atividade do modelo de evapotranspiração de .....                                                                                  | 39 |
| 9 - Estrutura da rede do cluster de banco de dados utilizado na simulação e otimização do modelo de Ritchie.....                                   | 41 |
| 10 - Configurações dos parâmetros de Otimização no programa .....                                                                                  | 42 |
| 11 - Configurações dos parâmetros da simulação da Análise de Sensibilidade no programa .....                                                       | 43 |
| 12 – Precipitação mensal no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal, durante o ano de 2007.....                                                         | 44 |
| 13 – Radiação solar diária no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal durante o ano de .....                                                            | 45 |
| 14 - Temperatura máxima (°C), mínima (°C) e média no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal durante o ano de .....                                     | 46 |
| 15 - Umidade Relativa no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal durante do ano de .....                                                                | 47 |
| 16 - Variação do Índice de Área Foliar do Cambara nas imediações da estação do pantanal (cambarazal) durante o ano de .....                        | 48 |
| 17 - Diagrama Relacional dos dados da torre micrometeorológica do Pantanal (cambarazal) utilizando a ferramenta Case Studio 2 Versão 2.19 da ..... | 50 |
| 18 - Modelo para a evapotranspiração de Ritchie utilizando sistemas .....                                                                          | 51 |

|                                                                                                                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>19 - Detalhe esquemático do cálculo da evapotranspiração máxima de uma ...</b>                                                                                                                                    | <b>51</b> |
| <b>20 – Detalhe esquemático do processo auxiliar no cálculo da Evapotranspiração</b><br>1 que utiliza os valores da evapotranspiração máxima e o índice de<br>área foliar. ....                                      | <b>52</b> |
| <b>21 – Detalhe esquemático do processo que calcula a evaporação da fase 1, que</b><br>utiliza a quantidade de precipitação (mm), a quantidade de água<br>presente no solo na fase 1 (mm) e o valor de $U$ (mm)..... | <b>52</b> |
| <b>22 - Detalhe esquemático do processo que calcula a Fase 2 da evaporação,</b><br>utilizando tempo de transição da fase 1, evapotranspiração máxima,<br>precipitação e quantidade de água no .....                  | <b>53</b> |
| <b>23 - Detalhe esquemático do processo que calcula o tempo de transição da fase 1</b><br>da evaporação para a fase 2 da evaporação (dia) e o tempo<br>transcorrido na fase 2 da evaporação (dia) .....              | <b>53</b> |
| <b>24 - Detalhe esquemático do processo de transpiração da cultura, utilizando</b><br>como base a evapotranspiração máxima, a evaporação da fase 1 e<br>fase .....                                                   | <b>54</b> |
| <b>25 - Detalhe esquemático que representa o controle da entrada de água (mm)</b><br>proveniente da precipitação nos estoques da Fase 1 e Fase 2 do ...                                                              | <b>55</b> |
| <b>26 - Detalhe esquemático do processo de saída da água na fase 1 e fase .....</b>                                                                                                                                  | <b>55</b> |
| <b>27 - Resultado da evaporação da fase 1 e da fase 2 do modelo otimizado. ....</b>                                                                                                                                  | <b>56</b> |
| <b>28 - Resultado da quantidade de água nos estoque da fase 1 e fase 2 do solo do</b><br>modelo otimizado. ....                                                                                                      | <b>57</b> |
| <b>29 - Comparativo entre os valores da evapotranspiração pelos métodos de</b><br>Bowen e Ritchie.....                                                                                                               | <b>57</b> |
| <b>30 - Semivariograma da evapotranspiração na fase 2 em relação a <math>U</math> e <math>\alpha</math>.....</b>                                                                                                     | <b>58</b> |
| <b>31 - Krigagem de Evapotranspiração da Fase dois por Ritchie (mm) em relação</b><br>à $\alpha$ (mm) e $U$ (mm). ....                                                                                               | <b>58</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 - Soma mensal da precipitação (mm) durante o ano de 2007. ....                                                              | 45 |
| 2 - Radiação solar total mensal incidente diária (MJ m <sup>-2</sup> Mês <sup>-1</sup> ) .....                                | 46 |
| 3 - Média mensal da temperatura máxima (°C), da temperatura mínima (°C) e da<br>temperatura média mensal no ano de 2007. .... | 47 |
| 4 - Média mensal da umidade relativa do ano de .....                                                                          | 48 |
| 5 - Média mensal do Índice de Área Foliar e Média anual do IAF do cambarazal<br>no ano de .....                               | 49 |
| 6 - Faixa de valores para o $U$ e $\alpha$ fornecido conforme referencial bibliográfico<br>presquisado. ....                  | 56 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

|                |                                                                                              |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_{\max}$     | Temperatura máxima do ar                                                                     |
| $\Sigma E_1$   | Somatória da evaporação da primeira fase                                                     |
| $E_1$          | Evaporação direta                                                                            |
| $\Sigma E_2$   | Tempo acumulado desde a troca de fase                                                        |
| $ET_{\max}$    | Evapotranspiração máxima                                                                     |
| $F_1$          | Frequências relativas da inclinação das folas a 15°                                          |
| $F_2$          | Frequências relativas da inclinação das folas a 45°                                          |
| $F_3$          | Frequências relativas da inclinação das folas a 75°                                          |
| $I_0$          | D densidade de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel durante o dia     |
| $I_{or}$       | Densidade do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo dossel durante o dia |
| $L_{pad}$      | longitude padrão que estabelece o horário oficial                                            |
| $\bar{O}(W_s)$ | Media da projeção das folhas na direção dos raios solares                                    |
| $O_1$          | Ângulo solar                                                                                 |
| $O_2$          | Ângulo solar                                                                                 |
| $O_3$          | Ângulo solar                                                                                 |
| $T_{local}$    | horário oficial local                                                                        |
| $T_{min}$      | Temperatura mínima do ar                                                                     |
| $T_{sol}$      | Tempo solar                                                                                  |
| $W_s$          | Ângulo solar                                                                                 |
| $e_s$          | Pressão de vapor d'água do ar saturado                                                       |
| $k_e$          | Coefficiente de extinção do dossel                                                           |
| $t_d$          | Temperatura média do fotoperíodo                                                             |
| $\alpha_1$     | Fator de correção com base na temperatura máxima                                             |
| $\alpha_2$     | Albedo da superfície do solo da cultura                                                      |
| $\alpha_c$     | albedo da cultura                                                                            |
| $\alpha_s$     | albedo do solo                                                                               |
| $\Delta T$     | Diferença de temperatura do ar entre dois níveis medidas                                     |
| $\Delta e$     | Diferença de pressão de vapor d'água do ar entre dois níveis                                 |

|             |                                                                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1FN         | Primeira Forma Normal                                                                         |
| 2FN         | Segunda Forma Normal                                                                          |
| 3FN         | Terceira Forma Normal                                                                         |
| 4FN         | Quarta Forma Normal                                                                           |
| 5FN         | Quinta Forma Normal                                                                           |
| $B$         | variável para calcula da equação do tempo                                                     |
| DER         | Diagrama de Entidade e Relacionamento                                                         |
| DFD         | Diagrama de Fluxo de Dados                                                                    |
| $dh$        | Diferencial da quantidade de calor                                                            |
| $DJ$        | Dia Juliano                                                                                   |
| $du$        | Diferencial de energia interna especifica                                                     |
| $Dw$        | Diferencial do trabalho                                                                       |
| $E$         | Pressão de vapor d'água do ar atual                                                           |
| $E$         | Evaporação direta da água do solo                                                             |
| $E$         | Equação do tempo                                                                              |
|             | Fase 2 da evaporação                                                                          |
| $Ep$        | Transpiração da cultura                                                                       |
| $Es$        | Evaporação direta da água do solo                                                             |
| $Et$        | Evapotranspiração                                                                             |
| $ETc$       | Evapotranspiração da cultura                                                                  |
| $H$         | Calor sensível                                                                                |
| $H$         | Densidade de fluxo de calor sensível                                                          |
| $h$         | Ângulo horário                                                                                |
| $I$         | Densidade de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa que atravessa o dossel durante o dia |
| IAF         | Índice de Área Foliar                                                                         |
| RPPN        | Reserva Particular do Patrimônio Natural                                                      |
| $Rs$        | Radiação solar                                                                                |
| SGBD        | Sistema Gerenciador de Banco de Dados                                                         |
| $T$         | Transpiração da cultura                                                                       |
| $T$         | Tempo transcorrido desde a troca de fase                                                      |
| $T$         | Transpiração                                                                                  |
| $\lambda E$ | Calor latente                                                                                 |
| $EEQ$       | Evaporação de equilíbrio                                                                      |
| $\psi$      | Ângulo zenital                                                                                |
| $\alpha$    | Parâmetro que caracteriza a segunda fase da evaporação                                        |
| $\beta$     | Método da razão de Bowen                                                                      |
| $\gamma$    | Constante psicrométrica                                                                       |

|           |                  |
|-----------|------------------|
| $\delta$  | Declinação solar |
| $\varphi$ | Latitude local   |

## RESUMO

PEREIRA, R. B. O. ***SIMULAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E OTIMIZAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO DE RITCHIE COM CLUSTERS DE BANCOS DE DADOS***. Cuiabá, 2009. 123F. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A realização da análise e modelagem computacional de forma precisa e coerente necessita de um detalhado levantamento de requisitos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi a análise, modelagem e simulação da evapotranspiração e realizar a pesquisa dos parâmetros  $U$  e  $\alpha$ . do modelo de Ritchie. Para tanto, foram utilizadas medidas micrometeorológicas realizadas em um cambarazal da RPPN SESC – Pantanal. Os valores de referência da evapotranspiração foram estimados pelo método da razão de Bowen. A documentação do modelo desenvolvido no programa Vensim, utilizou a análise estruturada e análise orientada a objeto. Os dados foram normalizados e implementados em um cluster de banco de dados. A validação do modelo utilizado foi realizada pelo teste não-paramétrico U de Mann-Whitney e a análise de sensibilidade por semi-variograma e mapeamento por krigeagem. O resultado do processo de calibração obteve os valores 10.1952 para  $U$  e 4.93 para  $\alpha$ . Não foi observada diferença significativa entre a evapotranspiração simulada e estimada pelo método da razão de Bowen pelo teste de Man-Whitney, apresentando nível de significância de 0,673. O semivariograma isotrópico do modelo, com ajuste para a função gaussiana sem patamar, obteve um coeficiente de determinação de 0,998.

**Palavras-chave:** clusters de banco de dados, sistemas dinâmicos, Pantanal Matogrossense.



## ABSTRACT

PEREIRA, R. B. O. ***SIMULATION AND OPTIMIZATION OF EVAPOTRANSPIRATION RITCHIE'S MODEL COMPUTATIONAL WITH CLUSTERS OF DATABASE***. Cuiabá, 2009. 123F. Dissertation ( Master's in Physics and Environment ) - Instituto of Physics , Federal University of Mato Grosso.

The completion of the analysis and computational modeling to accurately and consistently requires a detailed survey of requirements. Therefore, the objective of this study was the analysis, modeling and simulation of evapotranspiration and do a search of the parameters  $U$  and  $\alpha$ . the model of Ritchie. Thus, measures were used micrometeorological held in a cambarazal of RPPN SESC - Pantanal. The reference values of evapotranspiration were estimated by the Bowen ratio. The documentation of the model developed in Vensim program, used a structured review and object oriented analysis. Data were standardized and implemented in a cluster of databases. The validation of the model was performed by non-parametric test  $U$  of Mann-Whitney and the sensitivity analysis by semivariogram and mapping by kriging. The result of the calibration values obtained for  $U$  10.1952 and 4.93 for  $\alpha$ . There was no significant difference between the simulated and evapotranspiration estimated by the method of Bowen ratio of the Mann-Whitney test, giving a significance level of 0.673. The semivariogram of the isotropic model, with adjustment for the Gaussian function without landing, made a determination coefficient of 0.998.

**Keywords:** database clusters, dynamic systems, Pantanal Matogrossense

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 PROBLEMÁTICA**

Uma das grandes questões levantadas atualmente pelos profissionais de informática é como realizar a análise e modelagem computacional sistemas dinâmicos, de forma precisa e coerente, tentando demonstrar por meio de diagramas, visões de um problema real o mais simples e preciso possível.

Por meio da modelagem de sistemas dinâmicos é possível realizar simulações e expor o método a sobrecarga de processos, gerando com isso, um resultado mais próximo possível da realidade.

A análise e modelagem de sistemas dinâmicos são um conjunto de técnicas bastante difundidas no mundo e sua utilização é importante, tanto para a comprovação de teorias e métodos já existentes, quanto para testes de sobrecarga de novas teorias ou métodos, ou ainda para a otimização de processos e resultados que ajudarão na tomada de decisão se um dado modelo precisa ser refinado ou reformulado.

No Brasil, assim como no âmbito internacional, a análise e modelagem de sistemas dinâmicos computacionais é presente principalmente nos grandes centros, como nas universidades em São Paulo e Rio de Janeiro, locais esses em que essa técnica é muito difundida entre os profissionais da área de informática.

Na visão estadual, essa técnica já não é tão difundida nos grandes centros, como é o caso do Estado Mato-Grosso, fator que transcende para as cidades que o compõem.

Buscando a difusão desse método na região matogrossense, faz-se necessário uma documentação e publicação do poder que esse ferramental possui no auxílio a tomada de decisão, nos testes das técnicas, métodos e teorias utilizadas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A análise e modelagem de sistemas dinâmicos vêm mostrando ser uma ferramenta muito eficiente na determinação e confirmação de parâmetros matemáticos, sendo adotada como ferramenta de auxílio para determinar, com certo grau de confiança, os métodos e parâmetros a ele submetido.

A análise consiste em uma forma de obter informações buscando entender e diagnosticar uma saída computacional para determinados problemas, que podem ser matemáticos ou não, mas tendo como base a noção geral do que se está abordando, tentando elucidar cada detalhe imprescindível para utilizar na modelagem.

A modelagem busca concretizar todos os fluxos de informações e processos apresentados na análise, dessa forma, transformando os processos e fluxos em diagramas, para que possam ser explorado de forma mais intuitiva.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi a análise, modelagem e simulação da evapotranspiração e realizar a pesquisa dos parâmetros  $U$  e  $\alpha$  do modelo de Ritchie.

Os objetivos específicos para este trabalho são:

- a. Documentar os sistemas desenvolvidos por meio dos métodos da análise estruturada;
- b. Elaborar e normalizar os dados utilizados no cluster de bancos dados;
- c. Pesquisar por procedimento de otimização numérica os parâmetros  $U$  e  $\alpha$  do modelo de Ritchie para uma série de dados micrometeorológicos de um cambarazal da RPPN SESC – Pantanal;
- d. Simular a evapotranspiração pelo modelo de Ritchie utilizando sistemas dinâmicos;
- e. Realizar cálculo da análise de sensibilidade dos valores de  $U$  e  $\alpha$  do modelo de Ritchie.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 ANÁLISE DE SISTEMAS**

Os métodos utilizados para a análise de sistema são: análise estruturada e a orientada a objeto.

A Análise Estruturada surgiu na década de 70 sendo utilizada por analistas como um recurso computacional para documentar e estruturar um sistema. Foi criada por Tom De Marco (DEMARCO, 1989) e adaptada por outros autores, sendo um deles, Gane & Sarson (GANE & SARSON, 1983), popularizando-se como o “método de Gane”.

O processo de análise é uma fase crítica no desenvolvimento de um sistema, porque qualquer falha durante a sua elaboração afetará toda a fase de desenvolvimento. A sua elaboração é complexa devido aos problemas de comunicação entre as pessoas, das mudanças nos requisitos do sistema e das técnicas inadequadas de avaliação. Assim tornando-se uma atividade essencial, mas morosa, descrever os requisitos do sistema de forma precisa. A linguagem do usuário e a linguagem do responsável pelo desenvolvimento são diferentes, fator esse que dificulta uma comunicação eficaz (MELO, 2008).

As pessoas de todos os setores da vida são afetadas pelos sistemas de informações de todos os tipos. Ainda que você não pretenda construir um sistema e nem mandar construir um, é inevitável que você os utilize em suas contas bancárias, na sua educação, em suas relações com a previdência social e em praticamente todos os aspectos de suas relações com a sociedade moderna. (YOURDON, 1994, p. 48).

O objetivo da análise independe do método ou técnica, visando resolver as dificuldades, fornecendo uma abordagem sistemática e detalhada para o desenvolvedor de todas as etapas. Para alcançar esse objetivo, a análise estruturada utiliza uma forma de linguagem e de comunicação auto-explicativa, precisa e muito elucidativa.

A especificação do sistema é o elo entre a análise e o projeto, fornecendo uma descrição dos requisitos do sistema a ser construído e modelado. O principal objetivo da análise é produzir uma especificação do sistema que defina a estrutura do problema a ser resolvido de acordo com a visão do usuário.

O uso do mesmo método de construção para a especificação e para o projeto obriga os dois métodos a ficarem mais coesos e a representarem um sistema que satisfaça às necessidades e expectativas do problema em questão. Almejando esse objetivo, a análise estruturada foi projetada para ser compatível com o projeto estruturado e fornecer a melhor entrada possível. A especificação é composta de diagrama de fluxo de dados, dicionário de dados e especificações dos processos (MELO, 2008).

O modelo essencial é composto por dois principais componentes: o modelo ambiental e o modelo comportamental. O modelo ambiental define a fronteira entre o sistema interno e meio externo, sendo o ambiente onde reside. O modelo comportamental descreve o interior do sistema, necessário para interagir com o ambiente (YOURDON, 1992).

Naturalmente, entradas e saídas não são produzidas ao acaso: nenhum sistema de informações engloba todos os dados disponíveis do universo, nem qualquer sistema real emite saídas aleatoriamente para consumo do ambiente externo. Os sistemas que construímos são racionais e objetivos; especificamente, eles produzem saídas como respostas a um evento, ou a um estímulo, do ambiente. Desse modo um outro aspecto básico do modelo ambiental é a identificação dos eventos que ocorrem no ambiente aos quais o sistema deve reagir. Nem todos os eventos, isto é, o ambiente em sua totalidade, gera um número finito de eventos! Estamos interessados apenas nos eventos que ocorrem no ambiente externo e exigem uma resposta do sistema. (YOURDON, 1992, p. 52).

A Análise Orientada a Objetos (AOO) busca entender e modelar, em termos de conceitos da orientação a objetos, um determinado problema em específico, na perspectiva do usuário ou de um especialista sobre o domínio em questão, com ênfase na modelagem do mundo real. O modelo resultante da Análise Orientada a Objeto especifica um conjunto integral de requisitos e a interface externa do sistema a ser construído.

Vários métodos e notações sobre a Análise Orientada a Objetos surgiram no início da década de 90, entre eles a engenharia de software orientada a objeto, de Ivar Jacobson, a técnica de modelagem de objetos por James Rumbaugh e o método de Booch desenvolvido por Grady Booch (PENDER, 2004). A junção desses três métodos deu origem à linguagem de modelagem unificada (UML), que formalmente tem estado em desenvolvimento desde 1994.

A UML, Linguagem Unificada de Modelagem, é uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de sistemas complexos de software. A UML proporciona uma forma-padrão para a preparação de planos de arquitetura de projetos de sistemas, incluindo aspectos conceituais tais como processo de negócios e funções do sistema, além de itens concretos como as classes escritas em determinada linguagem de programação, esquemas de bancos de dados e componentes de software reutilizáveis. (BOOCH, 2005, p. 60).

Durante o processo de análise de sistemas, recomenda-se a utilização da técnica de modelo orientada a objeto, indicando o que o sistema deve fazer para satisfazer os requisitos, mencionando o mínimo possível sobre como o sistema será implementado.

### **2.1.1 Levantamento de Requisitos de um sistema**

Independente da técnica utilizada para análise é importante realizar o levantamento de requisitos, por meio dele é possível ter uma visão geral do funcionamento de todos os processos, fluxo e variáveis de um sistema. O completo entendimento dos requisitos de um sistema é um ponto fundamental para o sucesso de um projeto, sem levar em conta a precisão com a qual um sistema venha a ser projetado, modelado e implementado ou simulado, certamente trará problemas ao modelo ou sistema se a sua análise de requisitos for mal realizada.

A Análise de Requisitos é uma tarefa que envolve antes de tudo, um trabalho de descoberta, refinamento, modelagem e especificação das necessidades e desejos relativos ao sistema que deverá ser desenvolvido. Nesta tarefa, o desenvolvedor desempenhará um papel importante, uma vez que, caberá no primeiro momento formular, de modo concreto, as necessidades em termos de funções e desempenho, e no segundo momento atuar como indagador, consultor e provedor de soluções.

Para Yourdon (1994) essa etapa é importante no processo de desenvolvimento de um sistema, principalmente porque estabelece o elo entre o software, enquanto sistema (realizada na etapa de Engenharia de Sistema) e projeto. Desta forma, permite que o engenheiro de sistemas especifique as necessidades do software em termos de funções e desempenho, que estabeleça as interfaces do software com os demais elementos do sistema e especifique as restrições de projeto.

Ao engenheiro de software (ou analista), a análise de requisitos permite uma alocação mais precisa do software no sistema e a construção de modelos do processo dos dados e dos aspectos comportamentais que serão tratados pelo software. Ao projetista, esta etapa proporciona a obtenção de uma representação da informação e das funções que poderão ser traduzidas em projetos procedimentais, arquitetônicos e de dados. Sendo possível definir os critérios de avaliação da qualidade do software a serem verificados uma vez que esteja concluído (PRESSMAN, 1995).

O primeiro componente do modelo orientado a objeto é uma declaração textual, concisa e breve dos objetivos do sistema, voltada para a direção usuária que não está diretamente envolvida no desenvolvimento do sistema (YOURDON, 1994).

A declaração de objetivos pode ter comprimento de uma, duas ou diversas sentenças. Entretanto poderia ter apenas um único parágrafo, pois ele não se destina a dar uma descrição detalhada e abrangente do sistema. Tal esforço seria inútil: é tarefa do restante do modelo ambiental e do modelo comportamental preencher todos os detalhes. (YOURDON, 1992, p 40)

Assim é possível entender que o levantamento de requisitos é uma tarefa morosa, mas essencial, nela se especificam as necessidades e desejos relativos ao modelo ou software que deverá ser desenvolvido.

### **2.1.2 Diagrama de Caso de Uso**

O Diagrama de Caso de uso especifica o comportamento ou parte de um sistema, sendo uma descrição de um conjunto de seqüência de ações, incluindo variantes realizadas, para produzir um resultado observável do valor de um ator, podendo ser aplicado para captar o comportamento pretendido do sistema que está sendo desenvolvido, sem ser necessário especificar como esse comportamento é implementado (BOOCH, 2005).

Os casos de uso descrevem como um sistema interage com atores externos, representando uma funcionalidade que um sistema fornece a seus usuários, sendo úteis para capturar requisitos funcionais (RAUMBAUGH, 2006)

O diagrama de caso de uso (*Use Case*) modela as expectativas do usuário para usar o sistema. As pessoas e os sistemas que interagem com o sistema alvo são chamados *atores*. Os recursos do sistema que os atores utilizam são chamados *caso de uso* (*Use Case*). Alguns casos de uso interagem com outros casos de uso, um relacionamento modelado por meio de setas de dependência. (PENDER, 2004, p 47)

O objetivo do caso de uso é identificar todos os recursos que os clientes esperam que o sistema ofereça suporte, mas ele não revela qualquer detalhe sobre a implementação desse recurso. Os componentes do Diagrama de Caso de Uso são (PENDER, 2004):

1. Atores: Um papel desempenhado por uma pessoa;
2. Caso de Uso: Identifica um comportamento chave do sistema;
3. Associação: Identifica uma interação entre atores e caso de uso;
4. Relacionamento *include* (inclusão): Identifica um caso de uso reutilizável que é incorporado incondicionalmente na execução de outro caso de uso;
5. Relacionamento *extend* (extensão): Identifica um caso de uso reutilizável que interrompe condicionalmente a execução de outro caso de uso;
6. Generalização: Identifica um relacionamento de herança entre atores ou entre caso de uso.

### 2.1.3 Diagrama de Atividade

O Diagrama de Atividades (*activity*) modela a lógica do sistema, tentando tomar a maior parte de sua notação dos fluxogramas, mas acrescentando o conceito de concorrência para dar suporte a muitas aplicações modernas (PENDER, 2004).

Para fazer a modelagem de aspectos dinâmicos do sistema são empregados os diagramas de atividades, que envolve a modelagem das etapas sequenciais em um processo computacional, possibilitando modelar os fluxos de objetos à medida que passa de um estado para outro em pontos diferentes do fluxo de controle (BOOCH, 2005).

Um diagrama de atividades mostra a seqüência de etapas que compõem um processo complexo, como um algoritmo ou fluxo de trabalho. Um diagrama de atividade mostra um fluxo de controle, semelhante a um diagrama de seqüência, mas enfoca as operações em vez de os objetos. Os diagrama de atividades são mais úteis durante as primeiras fases de projeto de algoritmos e fluxos de trabalho (RAUMBAUGH, 2006, p 145).

O diagrama de atividade é valioso porque (PENDER, 2004):

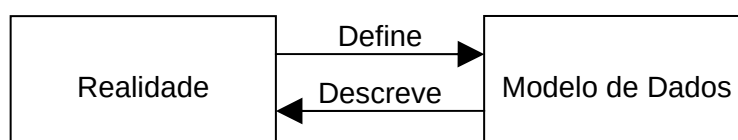
1. Representa a lógica exigida para implementar o comportamento do sistema;
2. Representa a lógica em qualquer nível que o projeto necessite;



3. São auto-explicativos para se aprender rapidamente;
4. São relativamente familiares aos usuários, normalmente são usados em treinamento comercial e manuais de procedimentos.

#### 2.1.4 Diagrama de Entidade e Relacionamento

É uma forma de representação gráfica (Figura 1) do conhecimento que se tem sobre o ambiente (realidade). Mostra uma visão estática das informações (entidades) de interesse e dos vínculos (relacionamentos) existentes entre elas. Os diagramas de entidade e relacionamento são expressões gráficas da estrutura lógica geral de um banco de dados, de forma auto-explicativa, qualidades que motivam o seu uso (SILBERSCHATZ, 2006).



**Figura 1** - Representação gráfica de um Diagrama de Entidade - Relacionamento

O modelo de dados é uma nova forma de comunicação entre o técnico de processamento de dados e o usuário. Conforme Yourdon (1994), essa nova forma de comunicação assegurará que, o modelo de dados conterá:

- Todos os dados necessários para suportar os processos de responsabilidade do usuário.
- Para suportar os dados dos processos que serão modificados ou introduzidos.

##### 2.1.4.1 Componentes do Modelo de Dados

#### Entidade

Entidade é algo real ou abstrato, real no sentido de existir, palpável, e abstrato que tende a ser no sentido figurado, ambos podem ser percebidos no ambiente onde está se levantando as informações sobre o qual interessa armazená-las. (YOURDON, 1992).

A entidade serve para indicar qualquer objeto distinguível que deva ser representado no banco de dados, sendo uma “coisa” ou “objeto” no mundo real que é distinguível de outros objetos (DATE, 2003).

A representação gráfica da entidade (Figura 2) para Yourdon (1992) e Date (2003), é representada num modelo de dados por meio de um retângulo.



**Figura 2** – Representação gráfica de entidades

### **Atributo**

É um item de dados que armazenamos sobre uma entidade, caracterizando ou qualificando uma determinada propriedade. (SILBERSCHATZ, 2006).

### **Chave de Identificação**

A chave de identificação de uma entidade é definida por um ou mais atributos, cujos valores individualizam uma única ocorrência dessa entidade (YOURDON, 1992).

Para Silberschatz (2006) é a maneira como se identifica uma tupla dentro de uma entidade, logo expressa por um ou mais atributos.

### **Lista de Entidades**

A lista de Entidades é uma relação de entidades com seus respectivos atributos, utilizada para documentar os trabalhos de análise de dados (YOURDON, 1992). Formada pelo nome da entidade, seguida da relação de atributos, entre parênteses, que a compõe e seguindo a convenção:

1. Cada atributo é separado do outro pelo sinal de adição;
2. Os atributos que identificam a entidade devem estar no início da relação e sublinhados;
3. Os atributos que ocorrem mais de uma vez são identificados por uma inclusão entre parênteses.

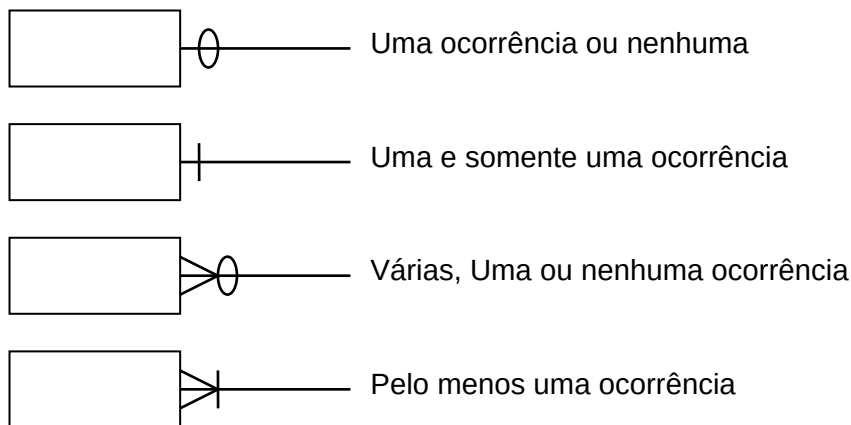
### **Domínio**

Para Yourdon (1992), são os possíveis valores que um atributo pode assumir, segundo Silverschatz (2006) o domínio é um conjunto de valores permitidos a cada atributo.

## Ocorrência

Representa o número de vezes que um determinado relacionamento aparece em outra entidade (YOURDON, 1992).

A sua representação gráfica é feita por meio de símbolos especiais (Figura 3) colocados nas extremidades da linha que representa um relacionamento.



\*Adaptado de YOURDON (1992).

**Figura 3** - Modelos de representações gráficas da quantidade de ocorrências de um relacionamento.

Os tipos de relacionamentos (YOURDON, 1992) podem ser qualificados como:

1. **Relacionamento de Dependência:** Feito entre uma entidade a outra que dela depender;
2. **Relacionamento Associativo:** Ocorre entre uma entidade que participa da associação.
3. **Categoria:** São ligações entre uma entidade e suas espécies (tipos), sendo estas mutuamente excludentes;
4. **Partição:** É um caso particular de categoria, na qual as espécies (tipos) de uma entidade não são mutuamente excludentes;
5. **Relacionamento Normal:** Não pode ser enquadrado em um dos tipos: Associativo; Dependência; Categoria e Partição.
6. **Auto-Relacionamento:** Ocorre entre uma mesma entidade;
7. **Múltiplos Relacionamentos:** Ocorre mais de um relacionamento entre duas entidades;

8. **Relacionamento Mutuamente Exclusivo:** Ocorre quando temos um relacionamento, entre as entidades “A” e “C” e também entre as entidades “B” e “C”, porém nunca ao mesmo tempo.

### **Tipos de Chaves**

Segundo Yourdon (1992), Silverschatz (2006) e Date (2003), os tipos de chaves que uma entidade pode ter, são qualificados como:

1. **Chaves Candidatas:** São as possíveis chaves de identificação de uma única ocorrência de uma entidade;
2. **Chave Primária:** É uma das chaves candidatas, selecionada por melhor conveniência;
3. **Chave Estrangeira:** Conjunto de um ou mais atributos de uma entidade que são chaves primárias em outras entidades.

### **2.1.5 Normalização**

Normalização é o processo formal que consiste em substituir um conjunto de relações por outro capaz de comportar melhor as mudanças futuras.

Entidades normalizadas não possuem duplicações de dados acidentais, em que cada atributo está relacionado com sua própria entidade e não se mistura com atributos relativos a entidades diferentes.

A normalização corresponde à formalização de regras baseadas no fato que as entidades possuem anomalias de atualização (YOURDON, 1994).

O objetivo principal da normalização é gerar um conjunto de esquemas de relações onde permite armazenar informações sem redundância desnecessária, ao mesmo tempo, permitindo recuperá-las de forma fácil (SILBERSCHATZ, 2006).

Sendo possível entender que o processo de normalização são conjuntos de regras aplicados a cada entidade, com finalidade de evitar a redundância desnecessária das informações, aumentando a sua confiabilidade e integridade.

#### **2.1.5.1 1º Forma Normal – 1FN**

Date (2003) informa que a entidade está na 1FN se e somente se, em todo valor válido desse atributo, cada tupla contém exatamente um valor para cada atributo.

Quando se trabalha com pequenos projetos de banco de dados, com entidades contendo no máximo 4 a 6 atributos, embora existam dados repetidos, a normalização não afeta adversamente o seu desempenho (SUEHRING, 2002).

No modelo relacional, formalizamos essa idéia de que atributos não possuem qualquer subestrutura. Um domínio é atômico se os elementos do domínio são considerados unidades indivisíveis. Dizemos que um esquema de relação R está na primeira forma normal (1FN) se os domínios de todos os atributos de R são atômicos. (SILBERSCHATZ, 2006, p.62).

Assim é possível entender que uma tabela está na 1FN, quando ela obedecer a condição, se e somente se, não possuir atributos multivalorados.

#### **2.1.5.2 2º Forma Normal – 2FN**

Date (2003) define que a entidade está na 2FN somente se, ela estiver na 1FN e todo atributo não chave for dependente da chave primária. Para Suehring (2002), a 2FN define que todos os atributos de uma entidade específica dependam do valor da chave inteira.

Uma entidade está na 2FN, quando obedecer à seguinte condição: se estiver na 1FN e cada atributo não-chave for dependente das chaves primárias como um todo.

#### **2.1.5.3 3º Forma Normal – 3FN**

Date (2003) define que uma entidade está na 3FN somente se está na 2FN e todo atributo não chave for dependente de forma não transitiva da chave primária. Suehring (2002), define que todos os atributos de uma entidade específica, dependam somente da chave e não de outros atributos.

#### **2.1.5.4 4º Forma Normal – 4FN**

Date (2003) define que a entidade está na 4FN sempre que existem subconjuntos A e B dos atributos da entidade, tais que a dependência multivalorada entre A e B seja satisfeita.

Sendo possível entender que uma entidade está na 4FN, quando estiver na 3FN e não existirem dependências multivaloradas.

### 2.1.5.5 5º Forma Normal – 5FN

Date (2003) define que a entidade está na 5FN, também chamado de forma normal de projeto-junção, se todas as dependências de junções não triviais que são satisfeitas pela entidade são implicadas por chaves candidatas da entidade.

Uma entidade está na 5FN, quando ela obedecer à condição: que uma relação é decomposta em várias relações e a reconstrução não é possível pela junção das outras relações, existindo uma dependência de junção.

### 2.1.6 Dicionário de Dados

Dicionário de dados é uma listagem organizada de todos os elementos de dados pertinentes ao sistema, com definições precisas e rigorosas para que o analista de sistema possa conhecer todas as entradas, saídas, componentes de depósitos e cálculos intermediários (YOURDON, 1992).

Também chamado de catálogo de dados, o dicionário de dados nada mais é do que a simples descrição das informações das entidades que são armazenadas num Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD).

O SGBD precisa fornecer uma função de catálogo ou dicionário. O catálogo é o lugar em que – dentre outras coisas – todos os diversos esquemas (externo, conceitual, interno) e todos os mapeamentos correspondentes (externo/conceitual, conceitual/interno, externo/externo) são mantidos. Em outras palavras, o catálogo contém informações detalhadas, às vezes chamadas informações do descritor ou metadados, com relação aos diversos objetos que são de interesse do próprio sistema. (DATE, 2003, p. 64 ).

Um Dicionário de Dados é um depósito de dados sobre dados (MARTIN, 1976), descrevendo-os da seguinte forma:

1. Quanto aos significados dos fluxos e depósitos mostrados nos DFD;
2. Referente à composição dos pacotes agregados de dados que se movimentam pelos fluxos, isto é, pacotes complexos (como endereço de um cliente) que possam ser divididos em itens mais elementares (como cidade, estado e CEP);
3. A composição dos pacotes de dados nos depósitos;
4. A especificação dos valores e unidades de partes elementares de informações dos fluxos de dados e depósitos de dados;
5. Os detalhes dos relacionamentos entre os depósitos.

## 2.2 MODELAGEM POR SISTEMAS DINÂMICOS

A modelagem por sistemas dinâmicos é a representação de um objeto, sistema ou idéia, por meio de um ou mais diagramas que representa de forma prática, auto-explicativa e funcional a idéia do funcionamento do sistema. Assim o modelo gerado deve conter uma quantidade de informações e atributos que represente de forma fidedigna o objeto analisado.

O modelo é a representação de um sistema utilizando diagramas, fórmulas matemáticas, descrição ou até mesmo réplicas acrescidas de sensores. A sua construção proporciona uma maneira sistemática, explícita e eficiente dos analistas e administradores orientarem seus julgamentos e decisões, servindo como um meio conveniente de comunicação e auxílio ao raciocínio.

Num sentido amplo, o modelo é uma certa quantidade de informações e atributos sobre aquilo que é representado, conforme os objetos e necessidade de análise. Pode variar desde uma representação simplificada, croqui, descrição, equação matemática ou até uma réplica acrescida de sensores para medida e experimentação. Dados, parâmetros, relações e vínculos devem ter representação adequada ao problema sob investigação (STRACK, 1984, p. 38).

O propósito dos modelos é permitir a realização de estudos sobre sistemas, analisando sua reação entre as influências internas e externas ou sua abrangência no meio ambiente.

O que deve ser modelado e os objetivo do trabalho é que ditam os requisitos do modelo, pois existe um tipo de modelo que é mais apropriado para um estudo específico (STRACK, 1984, p. 39).

### 2.2.1 Definições

Não existe regra absoluta para a construção de modelos, sendo que cada modelo ou idéia apresenta características peculiares e seu objetivo de estudo também são muito diferentes, sendo que alguns autores se referem à “arte” de modelar (STRACK, 1984). Assim um ponto serve de referência a confecção de bons modelos, a característica evolutiva, de tal forma que deve ter seu início simples e evoluir para um modelo mais elaborado, com níveis de complexidade adaptados aos objetivos propostos.

A modelagem consiste da habilidade de analisar o problema, considerando dele os aspectos essenciais, selecionando e modificando as hipóteses básicas que o caracterizam e então aperfeiçoando o modelo, até que um boa aproximação seja conseguida (STRACK, 1984, p. 41).

O modelo por sistemas dinâmicos tem como característica ajudar na elaboração dos raciocínios, visto que um modelo força uma organização objetiva, uma avaliação e validação das idéias para a representação do sistema de forma auto-explicativa e objetiva, tendo como resultado a organização dos conceitos e a eliminação das inconsistências de informações.

Strack (1984) define cinco funções básicas na utilização de modelos, que são: a de ajudar na elaboração do raciocínio; auxílio à comunicação em que a linguagem verbal é ambígua; propósito de treinamento e instrução; a realização de previsões e possibilitar a efetivação de experiências controladas, onde sua experimentação direta é impraticável ou inviabilidade econômica.

Os modelos podem ser classificados de diversas maneiras, em que alguns são concretos, possuindo sua representação física enquanto outros são abstratos, tendo a sua formulação por meio de símbolos, dados ou descrições. Os modelos podem ser classificados como: icônicos ou físicos, analógicos, simbólicos ou procedurais (simulação) (STRACK, 1984).

Os modelos icônicos ou físicos são representador por atributos físicos semelhantes ao sistema em estudo, sendo utilizados para demonstração ou experimentação indireta.

Os modelos analógicos são aqueles que as propriedades do sistema são representadas por propriedade análogas, que se comportam de maneira similar ao real, tendo seus estudos feitos com uma variável e seus resultados transpostos para outra.

Os modelos simbólicos ou matemáticos têm a utilização de símbolos algébricos usados para representar os comportamentos dos sistemas e suas inter-relações. Buscando aproximações matemáticas para os atributos físicos, constituindo no modelo mais abstrato, conseqüentemente mais real e com grande uso em estudos de sistemas.

Os modelos procedurais ou de simulação apresentam os elementos e inter-relações do sistema por procedimentos lógicos ou matemáticos, tendo o seu resultado por execuções ao em vez de serem resolvidos.

[...] a simulação não é uma teoria, mas uma metodologia de resolução de problemas. Neste sentido, a simulação é um método de modelagem que não gera soluções por si só, como os modelos analíticos, mas servem como técnica ou ferramenta para atuar “da mesma maneira” que o sistema estudado, donde são obtidos dados estatísticos de desempenho para análises (STRACK, 1984, p. 41).



## 2.3 SIMULAÇÕES

A simulação é uma técnica empregada por diversos profissionais, como administradores, analista de sistemas e projetista tendo como característica auxiliar na tomada de decisões, principalmente em situações de médio e longo prazo que envolva custo e riscos elevados.

[...] deve ser lembrado que os modelos de simulação podem tornar-se ferramentas valiosas nas implementações dos sistemas projetados. Um ponto a mais pode ser salientado. A construção do modelo presume um bom entendimento sobre o sistema e os equipamentos em estudo, servindo tanto para os propósitos de treinamento, como para os de acompanhamento de desempenho verificado. (STRACK, 1984, p. 43).

A principal importância da utilização deste método é quando existe a inviabilidade, tanto financeira quanto prática da execução da experimentação no sistema real. Fator esse que torna essa técnica de suma importância, principalmente, quando se analisa e estuda sistemas ambientais.

### 2.3.1 Definições

A simulação de sistemas permite o exame de detalhes específicos com grande acurácia ou projetar situações com alto grau de agregação das informações. A utilização da técnica de simulação pode ser considerada quando algumas dessas condições forem verdadeiras (STRACK, 1984):

1. Não exista uma fórmula matemática para o problema;
2. Não exista método analítico para a resolução do modelo matemático;
3. A obtenção dos resultados pelo modelo seja mais fácil e prático do que por método analítico;
4. Necessidade de observar o desenvolvimento do processo do início até os resultados;
5. Quando a inviabilidade da execução do experimento no sistema real;
6. Existe a necessidade de estudar longos períodos de tempo.

Na utilização da simulação é possível realizar estudos com um alto nível de agregação ou detalhamento, de tal forma que é possível associar o nível de detalhamento ao grau de realismo incorporado ao sistema.

Um dos processos mais morosos da simulação é a validação do modelo, esse processo visa quantificar o grau de confiança e de correção dos resultados obtidos, já que não existe nenhum método formal de comprovar a correção de um modelo de simulação. Uma técnica para se validar o modelo é comparar os resultados obtidos durante a simulação com os dados reais. Outro método é por meio de testes estatísticos para verificar as suposições e transformações das entradas e saídas do modelo (STRACK, 1984).

O objetivo principal de se aplicar esses métodos para validação do modelo é determinar se ele comporta da mesma maneira que o sistema modelado e legitimar os resultados das simulações.

Outro conceito importante é sobre a técnica de análise de sensibilidade, que consiste em determinar a sensibilidade das respostas em função da variação dos parâmetros de entrada, que é obtida pela variação sistemática dos valores dos parâmetros em algum trecho ou intervalo de interesse, verificando assim, as influências no comportamento do modelo, para isso analisando os resultados de saída.

[...] Confrontada com os modelos físicos, a simulação possibilita mais facilmente estudos de alternativas e custos mais reduzidos. No contexto geral, a simulação apresenta uma boa relação preço – eficiência, considerando-se principalmente a grande variação possível nos níveis de detalhe incorporados no estudo. (STRACK, 1984, p. 43).

Estudos utilizando simulações seguem um conjunto de etapas bem definidas, que podem ser identificadas como o “processo de simulação”. A primeira etapa é a formulação dos objetivos (análise de requisitos), que descreve as formas e os objetivos da simulação, identificando seus limites, restrições e relacionamentos internos e externos (STRACK, 1984).

A simulação desenvolveu-se principalmente devido aos métodos computacionais utilizados para sua execução. Conseqüentemente, a maioria dos estudos neste ramo é implementada em computadores e boa parte usa linguagens de simulação que possuem declarações apropriadas à descrição dos sistemas e comando que representam o seu funcionamento. (STRACK, 1984, p. 43).

A segunda etapa é a abordagem funcional que é usada quando se define uma seqüência de funções que será executada pelo sistema, sendo essencial identificar as funções e estabelecer em seqüência a hora e a forma que elas ocorrem. A modelagem de sistemas utiliza fluxo de dados e informações, que consistem em entender uma situação, idéia, fenômeno ou sistema e analisar o

fluxo dos dados e informações dos itens principais em uma sequência de etapas de processamento.

A terceira etapa é a análise por mudança de estado que é usada em sistemas com grande volume de relações interdependente.

A quarta etapa é a definição das entradas dos dados que são classificados em variáveis, parâmetros, fatores exógenos<sup>1</sup> e fatores endógenos<sup>2</sup>. Para assegurar que os dados estejam disponíveis quando necessário, suas fontes devem ser localizadas e sua adequação avaliada (STRACK, 1984).

A quinta etapa é a execução do modelo que resultará em saídas, podem ser por meio de relatórios, gráficos ou outra forma conveniente de exibição de dados.

A sexta etapa é a análise dos resultados que devem ser interpretados pelo analista e pelas pessoas envolvidas no processo de simulação, sendo avaliadas em termos de objetivos e condições propostas condicionadas pela entrada de dados, nesse momento, devem ser realizadas as validações dos resultados e a análise de sensibilidade (STRACK, 1984).

A sétima etapa é a verificação de possíveis melhorias utilizando outras configurações, caso seja necessário o quinto e sexto passo devem ser repetidos quantas vezes forem necessárias, variando suas entradas para otimizá-las, valores estes que serão utilizados para um melhor ajuste dos parâmetros do modelo.

A função do analista é traduzir uma situação em um modelo Por meio da observação dos mecanismos operacionais do sistema ou pela compreensão das teóricas que regem o seu comportamento. (STRACK, 1984).

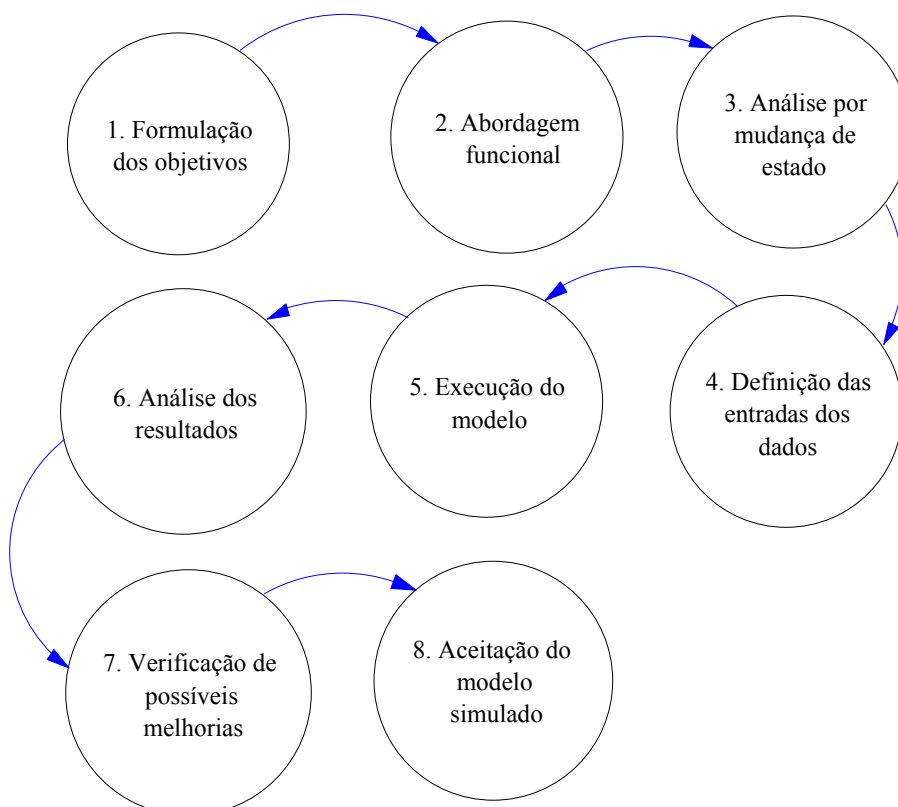
A oitava etapa e última constitui na aceitação ou não do modelo simulado, isso ocorre quando os dados finais satisfazem as condições formuladas no levantamento de requisitos.

O esquema do conjunto de etapas do processo de simulação é apresentado na Figura 4.

---

<sup>1</sup> Parâmetros ou variáveis cujo valor afeta o sistema, mas não é afetada por ele.

<sup>2</sup> Parâmetros ou variáveis que tem o valor determinado pelo sistema



**Figura 4** - Esquema do conjunto de etapas do processo de simulação.

## 2.4 CLUSTER DE BANCO DE DADOS

Cluster são conjuntos de computadores interligados pela rede, que trabalham em conjunto trocando informações entre si, para resolver um determinado problema. A tecnologia de Cluster teve seu início nas máquinas de alto desempenho, também conhecidas como supercomputadores, porém o seu desenvolvimento em PC's começou em 1994 pela NASA, que teve como principal fator motivacional, o alto preço dos supercomputadores.

Um Cluster é composto por um conjunto de nós processadores (PCs ou estações) autômatos que são interligados por uma rede, comportando-se como um sistema de imagem única, de tal forma, que os usuários têm a impressão que um único sistema responde. (PITANGA, 2003).

Seu objetivo é a agregação de recursos computacionais para disponibilizá-los com a finalidade de melhoria da aplicação, de forma geral, são compostos por computadores do tipo IBM-PC com uma característica intrínseca, a de disponibilizar uma grande quantidade de recursos (DANTAS, 2005).

Um fator importante em ambientes de cluster é a escalabilidade, podendo ser ampliado conforme a necessidade da aplicação.

Os clusters são classificados como: de Processamento Paralelo, de Balanceamento de Carga e de Alta Disponibilidade (PITANGA, 2003).

Um Cluster de Processamento Paralelo tem como característica que a cada novo processo inicializado, o Cluster pega o processo e divide entre os computadores. Utilizando essa tecnologia, o tempo de término de processamento se torna consideravelmente menor do que se fosse realizado em um único computador.

O Cluster de Balanceamento de Carga distribui a carga de informações entre os servidores, para que, no grupo de servidores, um único servidor não fique sobrecarregado.

Um Cluster de Alta Disponibilidade tem como finalidade a de manter os serviços de um servidor disponível o máximo de tempo possível. Utilizando-se de técnicas de replicação de arquivos e serviços, e redundância de hardware.

A finalidade de se utilizar um cluster, ou combinações de clusters, é quando os conteúdos são críticos ou quando os serviços têm que estar disponíveis e/ou processados o mais rápido possível.

#### **2.4.1 Cluster de banco de dados com MySQL**

Um Cluster de banco de dados tem como característica que a cada novo processo inicializado ele é dividido e processado entre o grupo de computadores, tornando o tempo de resposta do processamento consideravelmente menor.

O Cluster MySQL é uma tecnologia que permite a agregação de dados em memória usando o sistema *shared-nothing*, que permite que o sistema trabalhe com o mínimo de requisito de hardware<sup>3</sup>.

Sendo projetado para não ter um único ponto de falha, cada componente deve usar a sua própria memória e disco, evitando a utilização de mecanismos de armazenamento compartilhado, tais como: pasta compartilhada na rede e sistemas de arquivos de rede.

O cluster MySQL integra o servidor padrão MySQL com o mecanismo de armazenamento em memória chamado NDB<sup>4</sup>. Quando os dados são armazenados

---

<sup>3</sup><http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/en/mysql-cluster-overview.html>

<sup>4</sup>NDBCLUSTER (também conhecido como NDB) é um mecanismo de armazenamento em memória oferecendo alta disponibilidade de dados e persistência funcionalidades. <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/en/mysql-cluster-basics.html>

no sistema NDBCLUSTER, os dados na verdade são armazenados em nós, que são acessíveis por todos os outros servidores MySQL pertencente ao cluster.

## 2.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é o fenômeno associado à perda conjunta de água do solo pela evaporação e da transpiração da planta, representando o total de água perdida pelo sistema. Sendo importante salientar que a planta retém em torno de 1% a 2% da água que utiliza, quanto maior a quantidade de água utilizada, melhor será o desempenho da planta (OMETTO, 1981).

Numa superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e transpiração. Evapotranspiração é o termo de que foi utilizado por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar essa ocorrência simultânea. Anteriormente, utilizava-se o termo uso consuntivo[...], mas este considera a água retida na planta. (PEREIRA, 1997, p. 80).

Para Varejão (2006) a evapotranspiração é empregado para exprimir a transferência de vapor d'água para atmosfera, proveniente de uma superfície vegetada. Segundo o entendimento, Varejão (2006) engloba duas contribuições: a evaporação da umidade existente no solo e a transpiração resultante da atividade biológica.

### 2.5.1 Evaporação

E evaporação é um fenômeno físico de mudança de fase líquida para vapor, da água presente em condições naturais. É importante se conhecer a quantidade de água perdida para se controlar a quantidade de água restante no solo (OMETTO, 1981).

Em Meteorologia o termo evaporação é comumente usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação no solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos, como da sublimação que se processa nas superfícies de gelo (VAREJÃO, 2006).

Para Pereira (1997) a evaporação é um fenômeno pelo qual uma substância passa da fase líquida para a fase gasosa, que é um fenômeno que exige o suprimento de energia externa sendo, portanto, um processo que utiliza essa energia externa ao sistema e transforma em calor latente.

O calor latente é a quantidade de energia necessária para evaporar a massa de 1g de água. Pela primeira lei da termodinâmica (Equação 1) a energia interna ( $u$ ) de um sistema pode ser alterada pela adição de calor ( $h$ ) e pela execução do trabalho ( $w$ ). (PEREIRA, 1997).

$$du = dh + dw \quad (1)$$

sendo  $du$  o diferencial de energia interna específica (por volume de massa),  $dh$  a variação da quantidade de calor e  $dw$  a variação do trabalho.

A mudança do estado sólido ou líquido para o estado gasoso, corresponde a um aumento da energia cinética das partículas da substância até a quebra da energia de ligação molecular, exigindo o consumo de uma quantidade de energia que, por unidade de massa da substância, é o calor de latente de evaporação (OMETTO, 1981).

A fonte quase exclusiva de energia consumida na evaporação natural da água é a radiação solar. Assim a transferência natural da água no estado líquido na superfície para o estado gasoso na atmosfera complica-se quando a superfície evaporante não é uniforme. O vapor d'água formado é removido por difusão turbulenta, ocasionada pelas correntes de convecção provocadas pelas diferenças de densidade e pelo deslocamento do ar na camada atmosférica junto à superfície, o fenômeno é condicionado pela temperatura, pelo déficit de saturação e estado de agitação do ar junto à superfície evaporante (OMETTO, 1981).

A atmosfera está em contínuo movimento, renovando e misturando o ar que envolve uma superfície, essa renovação dificulta que o ar imediatamente acima da superfície se sature, mantendo o déficit de saturação, tendo como resultado a continuação do processo evaporativo (PEREIRA, 1997).

A evaporação pode ser medida utilizando um reservatório onde o nível da água possa ser medido com precisão, existindo assim diversos tipos de tanques, sendo os mais comumente utilizados: tanques Classe A, tanques GGI-3000 e os tanques de 20 , inúmeras são as modificações e adaptações desses tanques, principalmente no tanque Classe A.

O tanque Classe A é um tanque cilíndrico construído com chapa de ferro galvanizado nº 22, com 1,21 m de diâmetro e 0,255 m de profundidade. O tanque deve ser pintado internamente e externamente com tinta aluminizada, sendo instalado sobre um estrado de madeira a 0,15m da superfície do solo, geralmente numa área gramada.

### 2.5.2 Transpiração

A transpiração, conforme Pereira (1997) é a evaporação da água que foi utilizada nos diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento da planta. Segundo o autor, na planta, essa evaporação ocorre por meio dos estômatos que são estruturas microscópicas de dimensões inferiores a 50  $\mu\text{m}$ , que normalmente possui a distribuição de 5 a 200 estômatos por  $\text{mm}^2$ , os estômatos são os principais agentes responsáveis pelas trocas gasosas em uma planta, processo esse que permite a comunicação da parte interna da planta com a atmosfera.

Sendo possível entender que a transpiração é o processo pelo qual a água contida em um corpo é eliminada, devido a uma elevação de temperatura interna ou externa, permitindo assim, que a água flua para a superfície do mesmo.

### 2.5.3 Evapotranspiração Real

A evapotranspiração real é a quantidade de água utilizada por uma planta, compreendendo na perda associada de água pelos processos de evaporação da água da superfície do solo e pela transpiração estomática e cuticular da planta OMETTO (1981).

Segundo Pereira (1997) a evapotranspiração real é aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente do seu porte, da sua área, de seu tamanho e das condições de umidade do solo.

[...] a transferência vertical de vapor d'água para a atmosfera ( por evaporação e transpiração), que se verifica a partir de uma parcela de terreno vegetado, em condições naturais ou de cultivo ( irrigado ou não), está condicionada à disponibilidade hídrica do solo em questão e se chama evapotranspiração real. (VAREJÃO, 2006, p. 71).

Assim é possível entender que a evapotranspiração real é a quantidade real de água utilizada por uma determinada cultura, independentemente de suas proporções e abrangência.



#### 2.5.4 Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial é a quantidade máxima de água que uma planta pode utilizar. A condição de evapotranspiração potencial estabelece o nível ideal de relacionamento entre planta, solo e atmosfera (OMETTO, 1981).

O termo evapotranspiração potencial, mostra ser a hipotética máxima perda, que poderia uma cultura qualquer, possuir em água. Ela significa a demanda máxima em água pela cultura e vem a tornar-se o referencial de máxima reposição de água à cultura, em processo de irrigação. (OMETTO, 1981, p 68)

A evapotranspiração potencial corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando bem suprido de umidade (PEREIRA, 1997).

O termo evapotranspiração potencial pode ser definido (VAREJÃO, 2006) como a perda d'água por uma parcela de solo úmido, totalmente revestida de vegetação e suficientemente extensa para eliminar o efeito de oásis.

Segundo Ometto (1981) a evapotranspiração potencial nos informa sobre a demanda máxima em água pela planta, resultando no valor limite superior de reposição de água no solo.

Assim é possível entender que a evapotranspiração potencial é a quantidade máxima de água, que envolve os dois processos, de evaporação e transpiração de uma vegetação.

Existem vários métodos para se estimar a evapotranspiração potencial, logo os mais disseminados são os modelos de Penman e o modelo de Thornthwaite que se baseiam unicamente em índice térmicos obtidos a partir de termômetros.

Um fator importante deliberado por Pereira (1997) é que as condições reais da evapotranspiração potencial ocorrem de um a dois dias após uma chuva generalizada, onde toda a região está umedecida e as contribuições advectivas são minimizadas, independente do tamanho da área da vegetação, lembrando que essas condições não acontecem em regiões áridas e semi-áridas e também nos meses de estiagem em regiões com chuvas sazonais.

#### 2.5.5 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência é definido como o limite superior ou a evapotranspiração máxima que ocorre numa cultura de alfafa, com altura de 0,3 a

0,5 m, numa dada condição climática e com aproximadamente 100 m de área tampão (VAREJÃO, 2006).

[A] evapotranspiração de referência é aquela de uma extensa superfície de grama com altura de 0,08 a 0,15m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. A evapotranspiração de referência assim definida coincide com a potencial. Valor obtido com alfafa pode diferir daquelas obtido com grama em função do albedo e da rugosidade das duas superfícies, se as áreas cultivadas forem suficientemente extensas. (PEREIRA, 1997, p. 84)

Então sendo possível entender que a evapotranspiração de referência é a evapotranspiração de uma cultura, a alfafa como cultura de referência, com crescimento ativo, altura de 0,3 a 0,5 m, numa dada condição climática, com 100m de área tampão e sem deficiência de água.

### **2.5.6 Balanço Hídrico do Solo**

A determinação da evapotranspiração resulta do balanço hídrico aplicado ao volume de solo explorado por plantas, admitindo-se que o volume de controle representa adequadamente a área da cultura, conforme o visto em (PEREIRA, 2007).

O Balanço Hídrico do solo no contexto agrônômico, é a determinação de todos os ganhos e perdas hídricas que se verificam em um terreno com vegetação, de tal forma que estabeleça a quantidade de água disponível às plantas em um dado momento (VAREJÃO, 2006).

Para Ometto (1981) o balanço hídrico são as solicitações da planta junto ao solo, da atmosfera junto à planta e o solo como sendo armazenador, contabilizando toda a água envolvida entre o sistema solo, planta e atmosfera. Sendo caracterizado como indicador do potencial climatológico de um local, para qualquer vegetação.

É possível entender que o balanço hídrico é a contabilidade da entrada e saída da água no solo. O que pode resultar em informações como perda ou armazenamento de água pelo solo. Sendo assim, a intensidade da precipitação e a inclinação da superfície do solo são fatores limitantes do seu perfil de umidade (OMETTO, 1981).

Cada tipo de solo tem uma capacidade de armazenamento que depende principalmente de suas propriedades físicas e da profundidade do sistema radicular das plantas. Ocorrendo chuvas muito fortes ou em dias consecutivos,

pode haver saturação do solo e grande parte da água precipitada escoar superficialmente sem penetrá-la. Pode ocorrer também a drenagem profunda do excesso de água para baixo da zona das raízes (PEREIRA, 1997).

Assim é possível entender que o balanço hídrico é a contabilidade da entrada e saída de água no solo, interpretado como resultado de ganho ou perda de água.

### **2.5.7 Métodos para estimar a evapotranspiração**

Nesta sessão são elucidados os métodos das estimativas para a obtenção da evapotranspiração dos métodos da razão de Bowen e do modelo de Ritchie.

#### **2.5.7.1 Método da Razão de Bowen**

O método da razão de Bowen trabalha com a razão entre o calor latente ( $\lambda E$ ) e o calor sensível ( $H$ ) como forma de estudar a partição da energia disponível (PEREIRA, 1997).

Assim, o valor obtido pelo método da razão de Bowen depende fundamentalmente das condições hídricas da superfície evaporante. Quando for negativo, significa que está havendo transporte de calor sensível do ar, que está mais quente, para a superfície, que está mais fria, assim representando uma advecção ou inversão térmica (VAREJÃO, 2006).

Quando o resultado obtido pelo método da razão de Bowen se aproxima de -1 torna-se indefinida e segundo Pereira (1997) o limite de confiança dessa equação seu valor chega a -0,5.

#### **2.5.7.2 Método de Ritchie**

O método de Ritchie (1972) é uma alternativa ao uso do coeficiente da cultura, permitindo o cálculo direto da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), e permitindo também o cálculo separado da evaporação direta da água do solo ( $E_s$ ) e da transpiração da cultura ( $E_p$ ) (PEREIRA, 1997).

Este modelo, além das variáveis climáticas, incorpora também as propriedades físicas do solo e as características de crescimento da planta ( $IAF$ ) para determinação da  $ET_c$ , desde a fase de implantação da cultura até os estágios de cobertura completa do solo pelo dossel vegetativo.

Uma das vantagens do método (Pereira, 1997) é a possibilidade de estimar a  $ET_c$  para diferentes padrões de frequência de irrigação, podendo ser utilizado tanto em tempo real quanto em simulações na programação de irrigação.

O modelo de Ritchie em sua formulação básica considera as duas primeiras fases da evaporação da água do solo, segundo (RODRIGUES, 2005) a secagem do solo é descrita em três fases, a primeira é caracterizada por uma evaporação relativamente elevada e controlada pelas condições atmosféricas. A segunda fase inicia a partir do instante em que a água do solo não puder mais ser transmitida a superfície a uma velocidade suficiente para satisfazer a demanda atmosférica. A terceira fase tem sido caracterizada por uma taxa de evaporação reduzida e constante.

Sendo possível concluir que a grande característica do modelo de Ritchie são as fases de evaporação e a possibilidade de se calcular a evaporação e transpiração separadamente.

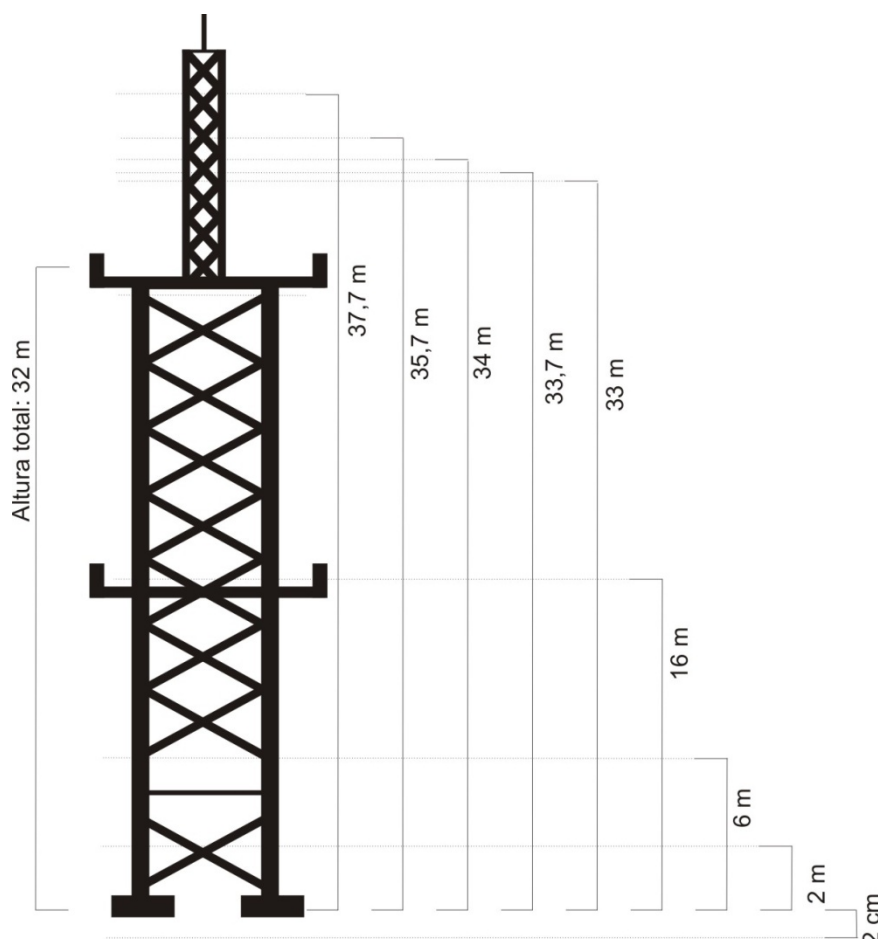
### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O presente estudo foi realizado com as informações registradas pela torre micrometeorológica denominada Cambarazal, localizada no Pantanal Matogrossense (Figura 5), mais especificamente na área experimental da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) SESC Pantanal, município de Barão de Melgaço, Mato Grosso, Brasil, em área de cambará sazonalmente inundada, inserida na planície fisiográfica do Pantanal, distante a 160Km de Cuiabá, Mato Grosso, com altura de 32m (Figura 6) e altitude de 120m a nível do mar e localizada geograficamente a  $16^{\circ}39'50''\text{S}$ ;  $56^{\circ}47'50''\text{O}$  (BIUDES, 2008).



**Figura 5** - Torre micrometeorológica Cambarazal



**Figura 6** - Diagrama esquemático da torre micrometeorológica Cambarazal

Foram utilizados um Saldo Radiômetro (*Net Radiometer LITE, Kipp & Zonen Delf, Inc, Holland*) que fornece o saldo de radiação sobre o dossel, um Piranômetro (*LI-200SA*) que fornece a radiação solar incidente, e um Sensor Quântico (*LI-190SZ*) que fornece a radiação fotossinteticamente ativa posicionados a 33m de altura do solo, três Termohigrômetros (*HMP 45 C. Vaisala, Inc.m Helsinki, Finland*) que fornece a temperatura e umidade relativa do ar instalados a 33,7, 35,7 e 37,7 m de altura do solo e um Pluviômetro de balsa (*TB4-L25, Campbell Sci, Inc.,USA*) que fornece a precipitação local, instalado a 34m de altura do solo. Todas as medidas foram armazenadas em um *Datalogger* CR10X.

Todos os equipamentos são alimentados com tensão de 12V fornecido por um banco de duas baterias de 150Ah que são carregadas por painel solar de 64W com regulador de tensão.

Os termohigrômetros instalados na torre foram calibrados mantendo-os durante quatro dias sobre as mesmas condições atmosféricas, tendo um intervalo de 10 segundos entre cada leitura, sendo registradas as médias a cada duas horas, utilizando retas de regressões lineares simples, a sua calibração foi realizada com

valores conhecidos de temperatura e pressão atual de vapor d'água que foram obtidas pelo termohigrômetro instalados a 33,7m de altura.

Foi utilizado as informações medidas entre 26 de janeiro e 31 de dezembro de 2007. O período seco compreendeu entre maio e setembro e o chuvoso de outubro a abril (BIUDES, 2008).

### 3.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

O método da razão de Bowen ( $\beta$ ) trabalha com a razão entre o fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) e o fluxo de calor sensível ( $H$ ) como forma de estudar a partição da energia disponível sendo escrita na Equação 2.

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} \quad (2)$$

O método é utilizado para estimar os componentes do balanço de energia na estação micrometeorológica do cambarazal, para isso utilizando as medidas de saldo de radiação sobre o dossel, densidade de fluxo de calor no solo, gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água.

A razão de Bowen pode ser reescrita na Equação 3.

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3)$$

em que o  $\Delta e$  é a diferença de pressão de vapor d'água do ar entre dois níveis (kPa), o  $\Delta T$  é a diferença de temperatura do ar entre dois níveis medidos ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $\gamma$  é a constante psicométrica ( $0.0626 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

A pressão de vapor d'água do ar saturado ( $e_s$ ) em (kPa) foi calculado como função da temperatura do ar ( $T_a$ ), Equação 4.

$$e_s = 0,6108.10^{\left(\frac{7,5 T_a}{237,3+T_a}\right)} \quad (4)$$

A pressão de vapor d'água do ar atual ( $e$ ) é calculada por meio da pressão de vapor d'água do ar saturado Equação 5.

$$e = e_s UR_a \quad (5)$$

A densidade do fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) em ( $\text{W.m}^{-2}$ ) é estimada pela Equação 6, tendo o limite de confiança dessa equação quando  $\beta = -0,5$ . (PEREIRA, 1997).

$$\lambda E = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (6)$$

em que  $Rn$  é o saldo de radiação em ( $\text{W.m}^{-2}$ ), o  $G$  é a densidade do fluxo de calor no solo ( $\text{W.m}^{-2}$ ).

Por meio do produto da razão de Bowen ( $\beta$ ) e o fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) foi obtido a densidade de fluxo de calor sensível ( $H$ ) em ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) pela Equação 7.

$$H = \beta \lambda E \quad (7)$$

### 3.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MODELO DE RITCHIE

O modelo de Ritchie é uma alternativa ao uso de coeficiente de cultura que permite o cálculo direto da evapotranspiração ( $ET$ ), calculando assim separadamente a evaporação direta da água do solo ( $E$ ) e a transpiração da cultura ( $T$ ), representa pela Equação 8 (RITCHIE, 1972)

$$ET = E + T \quad (8)$$

O modelo de Ritchie tem como principal característica a de considerar somente as duas primeiras fases da evaporação da água no solo descrita por Philip (1957), segundo esse autor a primeira é caracterizada por uma evaporação relativamente elevada e controlada pela demanda atmosférica. A segunda fase é iniciada a partir do momento em que a água não puder mais ser transmitida à superfície a uma velocidade suficiente para satisfazer a demanda atmosférica. A terceira fase tem sido caracterizada por uma taxa de evaporação reduzida e constante.



Durante o primeiro estágio de secagem do solo, chamado de evaporação direta ( ) deve ser calculada levando em consideração o índice de área foliar (IAF) pela Equações 9 e 10 (RITCHIE,1972).

$$E_1 = ET_{max} (1 - 0,43 IAF) \quad \text{se } IAF < 1 \quad (9)$$

$$E_1 = \frac{ET_{max}}{1,1} e^{-0,4 IAF} \quad \text{se } IAF \geq 1 \quad (10)$$

em que  $E_1$  é a evaporação direta da água do solo durante o primeiro estágio (mm dia<sup>-1</sup>), IAF é o índice de área folhas (adimensional) e  $ET_{max}$  é a evapotranspiração máxima (mm dia<sup>-1</sup>), que é calculada com base no conceito da evaporação de equilíbrio ( $EEQ$ ) (Equação 11)

$$ET_{max} = \alpha_1 EEQ \quad (11)$$

em que  $\alpha_1$  é um fator de correção com base na temperatura máxima, sendo mostradas nas Equações 12 a 14 e  $EEQ$  pela Equação 15

$$\alpha_1 = 1,1 \quad \text{se } 5 < T_{max} \leq 35^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$\alpha_1 = 1,1 + 0,05 (T_{max} - 35) \quad \text{se } T_{max} > 35^\circ\text{C} \quad (13)$$

$$\alpha_1 = 0,01 e^{0,18 (T_{max} + 20)} \quad \text{se } T_{max} \leq 5^\circ\text{C} \quad (14)$$

$$EEQ = Rs (0,00488 - 0,00437 \alpha_2) (t_d + 29) \quad (15)$$

em que a  $T_{max}$  é a temperatura máxima do ar (°C),  $Rs$  é a radiação solar (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $\alpha_2$  é o albedo da superfície do solo da cultura e  $t_d$  é a temperatura média do fotoperíodo (°C) calculada pela Equação 16

$$T_d = 0,6 T_{max} + 0,4 T_{min} \quad (16)$$

em que  $T_{max}$  é a temperatura máxima (°C) e  $T_{min}$  é a temperatura mínima (°C).

O valor de  $\alpha_2$  é calculado pelo relacionamento do albedo da cultura ( $\alpha_c$ ) com o albedo do solo ( $\alpha_s$ ) e o IAF, Equação 17.

$$\alpha_2 = \alpha_c - (\alpha_c - \alpha_s) e^{-0,75 IAF} \quad (17)$$

A fase 2 da evaporação ( ) em (mm dia<sup>-1</sup>) depende do tempo transcorrido desde a troca de fase, que é em função do parâmetro  $U$  (mm) do solo, este parâmetro representa a quantidade de água que deve ser evaporada para que se inicie a fase 2 da evaporação.

A fase 2 da evaporação (Rodrigues, 2005) é calculada pela Equação 19 (mm dia<sup>-1</sup>) com base na Equação 18 (dia), ao final de cada ciclo da fase 2 o valor acumulado da fase 2 da evaporação é recalculado pela Equação 20 e o tempo transcorrido na segunda fase é recalculado com a Equação 21.

$$t = t + 1 \quad (18)$$

$$E_2 = \alpha t^{-1/2} \quad (19)$$

$$\sum E_2 = \sum E_2 + E_2 - P \quad (20)$$

$$t = (\sum E_2 / \alpha)^2 \quad (21)$$

em que  $t$  é o tempo transcorrido desde a troca de fase (dia) e  $\alpha$  é o parâmetro que caracteriza a segunda fase da evaporação (mm dia<sup>-1/2</sup>).

O tempo de transição da fase 1 da evaporação para a fase 2 pode ser calculado utilizando as equações 22 e 23, sendo tempo de transição calculado pela Equação 21 (PEREIRA, 1997)

$$\sum E_1 = E_1 - 0,4 (\sum E_1 - U) \quad (22)$$

$$\sum E_2 = 0,6 (\sum E_1 - U) \quad (23)$$

em que  $\sum E_1$  é a somatória da evaporação da primeira fase,  $\sum E_2$  é o tempo acumulado desde a troca de fase (mm dia<sup>-1</sup>) e  $\alpha$  é o parâmetro que caracteriza a segunda fase da evaporação (mm dia<sup>-1</sup>).

A transpiração ( $T$ ) é calculada em função do  $ET_{max}$  (mm dia<sup>-1</sup>) e do estágio de desenvolvimento da cultura (IAF) (adimensional), utilizando as equações 24 à 26.

$$T = ET_{max} (1 - e^{-IAF}) \quad \text{se } 0,1 \leq IAF \leq 3 \quad (24)$$

$$T = ET_{max} \quad \text{se } IAF > 3 \quad (25)$$

$$T = 0 \quad \text{se } IAF < 0,1 \quad (26)$$

É importante ressaltar que se  $E + T > ET_{max}$  então o valor de  $T$  será  $ET_{max} - E$ .

### 3.3.1 Estimativa do Índice de Área Foliar

O índice de área foliar do cambarazal foi estimado por método indireto a partir da transmitância da luz no dossel, sendo assim, baseado na atenuação da radiação que atravessa um corpo de acordo com a Lei de Lambert-Beer utilizada na estimativa do índice de área foliar (Equação 27) por Monsi e Saeki (1953) e redesenhada na Equação 28.

$$I = (I_0 - I_{or}) e^{(-k_e \cdot IAF)} \quad (27)$$

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{I}{I_0 - I_{or}}\right)}{-k_e} \quad (28)$$

em que  $I$  é a densidade de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa que atravessa o dossel durante o dia ( $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $I_0$  é a densidade de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel durante o dia ( $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $I_{or}$  é a densidade do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo dossel durante o dia ( $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $k_e$  é o coeficiente de extinção do dossel ( $\text{m}^{-2}$ ) e o IAF é o índice de área foliar do cambarazal ( $\text{m}^{-2}$ ).

O coeficiente de extinção da luz (Equação 29) foi estimado segundo o trabalho de Goudriaan (1988) pelo ângulo solar e assumindo que a copa das plantas no dossel tem a sua geometria esférica.

$$k_e = \frac{\bar{O}(W_s)}{\text{sen}(W_s)} \quad (29)$$

em que  $W_s$  é o ângulo solar (graus) e  $\bar{O}(W_s)$  é a média da projeção das folhas na direção dos raios solares ( $\text{m}^{-2}$ ). A média da projeção das folhas na direção dos raios solares é calculada a cada hora (Equação 30) entre as 6:00 e 18:00 h. O coeficiente de extinção diário foi obtido pela média de seus valores dentro deste intervalo.

$$\bar{O}(W_s) = F_1 \cdot O_1 + F_2 \cdot O_2 + F_3 \cdot O_3 \quad (30)$$

em que  $F_1, F_2, F_3$  são as frequências relativas da inclinação das folas a  $15^\circ, 45^\circ$  e  $75^\circ$ . Assumindo o formato esférico do dossel das árvores, as frequências relativas  $F_1, F_2, F_3$  foram 0,134; 0,366 e 0,500.

As variáveis  $O_1$ ,  $O_2$  e  $O_3$  são dependentes do ângulo solar e calculadas pelas equações (31) a (33). Groudriann (1988) sugere que os resultados se aproxime de uma senóide e uma constante limite, 0,26 e 0,47 respectivamente.

$$O_1 = \max(0,26; 0,93 \cdot \sin(W_s)) \quad (31)$$

$$O_2 = \max(0,47; 0,68 \cdot \sin(W_s)) \quad (32)$$

$$O_3 = 1 - 0,268 \cdot O_1 - 0,732 \cdot O_2 \quad (33)$$

em que  $W_s$  é o ângulo solar (graus), calculado pela Equação 34.

$$W_s = 90 - \Psi \quad (34)$$

em que  $\Psi$  é o ângulo zenital (graus), calculado pela Equação 35.

$$\Psi = \arccos(\sin(\varphi)\sin(\delta) - \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(h)) \quad (35)$$

em que a  $\varphi$  é a latitude local (graus) sendo no cambarazal  $15,85^\circ$ ,  $\delta$  é a declinação solar (graus) calculada pela Equação (36) e  $h$  é o ângulo horário (graus) calculada pela Equação (37).

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\left(\frac{360}{365}\right) \cdot (284 + DJ)\right) \quad (36)$$

$$h = 15 \cdot (T_{sol} - 12) \quad (37)$$

em que DJ é o dia Juliano ( $1 \leq DJ \leq 365$ ) e  $T_{sol}$  é o tempo solar (horas) calculado na Equação (38).

$$T_{sol} = T_{local} + \frac{L_{pad} - L_{local}}{15} + E \quad (38)$$

em que  $T_{local}$  é o horário oficial local (horas),  $L_{pad}$  é a longitude padrão que estabelece o horário oficial, sendo no cambarazal  $60^\circ$ ,  $L_{local}$  é a longitude loca, sendo no cambarazal  $16,66^\circ$  e  $E$  é a equação do tempo, calculada pela Equação 39.

$$E = -0,43 \cdot \cos(B) + 7,35 \cdot \sin(B) + 3,35 \cdot \cos(2 \cdot B) + 9,34 \cdot \sin(2 \cdot B) \quad (39)$$

em que  $B$  é uma variável para calcula da equação do tempo, calculada pela Equação 40 em função do dia Juliano (DJ).

$$B = \frac{360 \cdot DJ}{365} \quad (40)$$

### 3.4 DOCUMENTAÇÃO DO SISTEMA

A documentação do modelo de Ritchie foi realizada utilizando as técnicas da análise estruturada e análise orientada a objeto, com o objetivo de assemelhar o máximo possível das formas utilizadas na elaboração da modelagem no programa Vensim e melhor representar a documentação.

#### 3.4.1 Levantamento de Requisitos

A elaboração do levantamento de requisitos foi realizada por meio de estudos nos artigos: do Ritchie (1972), Rodrigues (2005) e Pereira (1997), tendo suas equações e princípios de funcionamentos deliberados com os professoras da Física Ambiental.

Com base nesse estudo são elucidados as informações e dados necessários para a elaboração do modelo de simulação por sistemas dinâmicos, caracterizando todos os principais aspectos de funcionamento.

##### 3.4.1.1 Visão Geral

O método de Ritchie é um método de estimativa da evapotranspiração, sendo uma alternativa ao uso de coeficiente da cultura que permite o cálculo direto da evapotranspiração, sendo possível, calcular separadamente a evaporação direta da água do solo e a transpiração da cultura.

O presente método tem como característica a de considerar as duas primeiras fase da evaporação da água no solo descrita por Philip (1957), em que a primeira fase da evaporação é caracterizada por uma relativa taxa elevada de evaporação, controlada pela demanda atmosférica, a segunda fase da evaporação é iniciada a partir do momento em que a água não puder mais ser transmitida à superfície a uma velocidade suficiente para satisfazer a demanda atmosférica. A terceira fase tem sido caracterizada por uma taxa de evaporação reduzida e constante.

### 3.4.1.2 Objetivo

O objetivo desse modelo será analisar a influência dos parâmetros  $U$  e  $\alpha$  na essência do método de Richie.

### 3.4.1.3 Requisitos funcionais

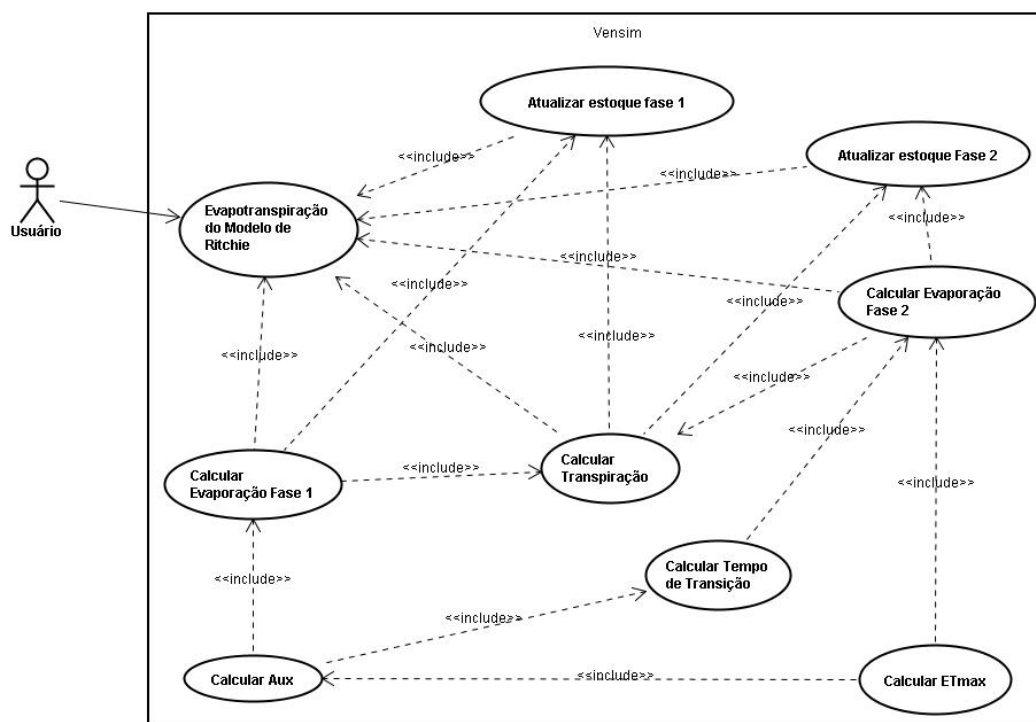
1. Calcular a temperatura média do fotoperíodo com base na temperatura máxima e temperatura mínima diária;
2. Calcular  $\alpha_2$  com base no albedo da cultura e no albedo do solo;
3. Calcular  $\alpha_1$  levando em conta a faixa da temperatura máxima;
4. Calcular a equação de equilíbrio utilizando a radiação solar, o  $\alpha_2$  e a temperatura média do fotoperíodo;
5. Calcular a evapotranspiração máxima utilizando o  $\alpha_1$  e a equação de equilíbrio;
6. Calcular a fase 1 da evaporação utilizando a evaporação máxima com base no valor do índice de área foliar;
7. Avaliar recursivamente se a quantidade de água evapotranspirada ultrapassou o valor de  $U$ , indicando a troca de fase.
8. Calcular o tempo transcorrido desde a troca de fase;
9. Calcular a fase 2 da evaporação com base no alfa e no tempo transcorrido;
10. Calcular a transpiração utilizando a evapotranspiração máxima condicionada ao valor do índice de área foliar;
11. Controlar o retorno da evaporação da fase 2 para a fase 1 com base na precipitação;
12. Controla o tempo de transição entre as fase 1 para a 2, no caso de retornar a fase um zerar o controle de tempo após a troca de fase.

### 3.4.1.4 Requisitos não funcionais

1. O modelo deve estar apto ao acompanhamento da troca de fase;
2. Deve ser estruturado de tal forma que seja possível verificar os valores da transpiração, da evaporação da fase 1 e 2, da quantidade de água no solo no estoque 1 e 2.

### 3.4.2 Diagrama de Caso de Uso

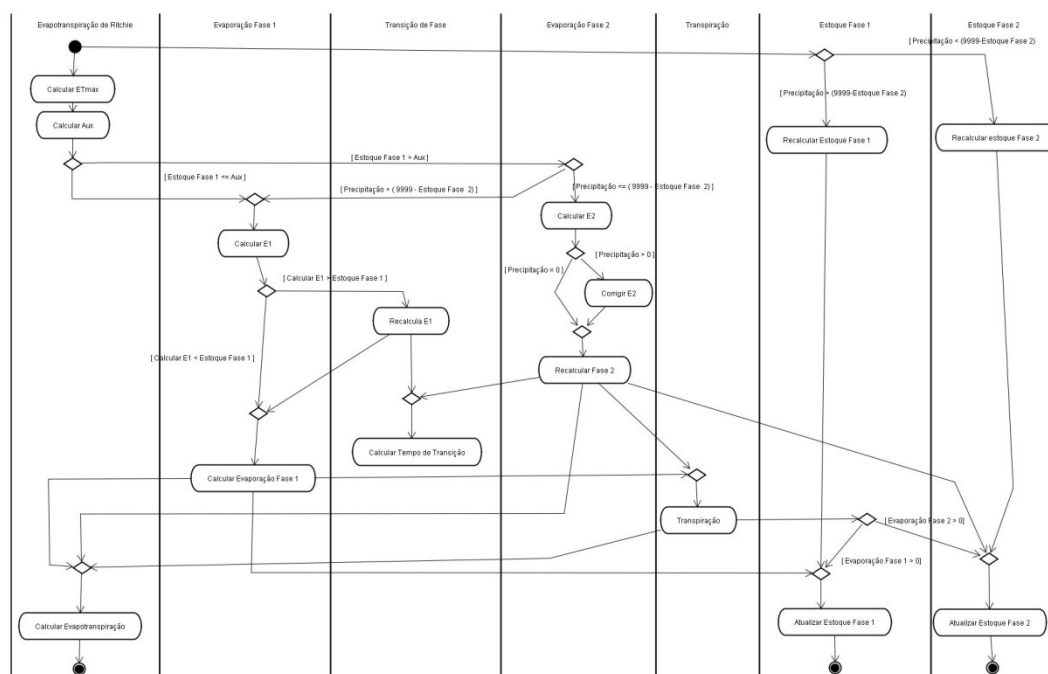
O Diagrama de Caso de Uso (Figura 7) descreve o cenário do processo de simulação do modelo de Ritchie apresentando suas funcionalidades do ponto de vista do usuário.



**Figura 7** - Diagrama de Caso de Uso do modelo de evapotranspiração de Ritchie

### 3.4.3 Diagrama de Atividade

O Diagrama de Atividade (Figura 8) descreve os fluxos conduzidos por processos da simulação do modelo de Ritchie.



**Figura 8** - Diagrama de Atividade do modelo de evapotranspiração de Ritchie

## 3.5 CLUSTER DE BANCO DE DADOS

A implantação do Cluster de Banco de Dados no processo de simulação do Vensim tem como objetivo atender a quarta etapa do processo de simulação para assegurar que os dados estejam disponíveis, principalmente quando os conteúdos são críticos ou quando os serviços têm que estar disponíveis ou processados o mais rápido possível.

Para alcançar esse objetivo utilizou-se procedimentos armazenados no Cluster de Banco de Dados visando otimizar o tempo de resposta dos dados e solucionar o problema de limitação do programa de simulação Vensim, ficando a encargo do Cluster, processar e gerar os resultados da filtragem no menor tempo.

A sobrecarga no Cluster de Banco de Dados está no fato das informações serem coletadas a cada 15 minutos, todos os dias, resultando em 96 tuplas diárias de informações, perfazendo 35.040 tuplas por ano, existindo a necessidade de cálculos diários, como o total da radiação solar durante o dia, tendo que integrar todos os dados diariamente durante o fotoperíodo, gerando uma sobrecarga de processamento.



Com base nessas premissas o Cluster de Banco de Dados em MySQL foi implementado seguindo a configuração descrita na sessão 3.5.1

### **3.5.1 CONFIGURAÇÃO DE HARDWARE E SISTEMA OPERACIONAL**

#### **Servidor 1 - Management**

Processador: Amd Phenom X4 9750  
Memória: 4 Gb  
HD: 80 Gb  
Placa de Rede: 3Com 10/100  
Sistema Operacional: Linux Slackware 12.2, Kernel 2.6.27.7  
Nome: mgn  
IP: 10.1.1.101  
Mascara: 255.0.0.0  
Gateway: 10.1.1.254  
Dns: 10.1.1.254

#### **Servidores 2 - nod1**

Processador: Amd Phenom X2 Dual-Core BE-2350 2100  
Memória: 2 Gb  
HD: 80 Gb  
Placa de Rede: 3Com 10/100  
Sistema Operacional: Linux Slackware 12.2, Kernel 2.6.27.7  
Nome: nod1  
IP: 10.1.1.102  
Mascara: 255.0.0.0  
Gateway: 10.1.1.254  
Dns: 10.1.1.254

#### **Servidores 3 - nod2**

Processador: Amd Phenom X2 Dual-Core BE-2350 2100  
Memória: 2 Gb  
HD: 80 Gb  
Placa de Rede: 3Com 10/100  
Sistema Operacional: Linux Slackware 12.2, Kernel 2.6.27.7  
Nome: nod2  
IP: 10.1.1.103  
Mascara: 255.0.0.0  
Gateway: 10.1.1.254  
Dns: 10.1.1.254

#### **Switch**

Fabricante: 3com  
Portas: 24  
Velocidade: 10/100 Mbps  
Modelo: Switch - 3C16471

### 3.5.2 Estrutura da Rede

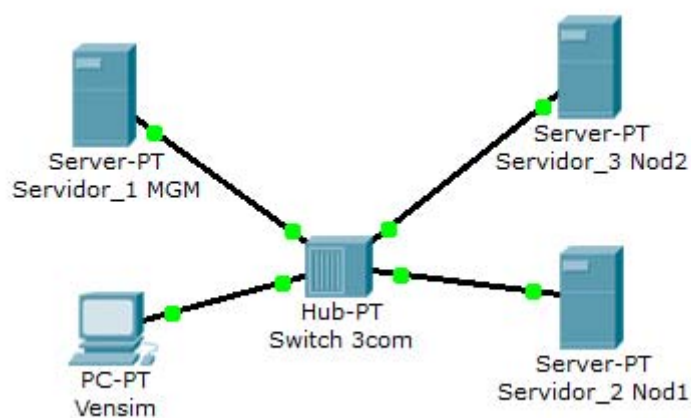
A estrutura do Cluster é composta por um servidor gerenciador (Servidor\_1), por dois servidores de processamento (Servidor\_2 e Servidor\_3), um *switch* e um computador clientes.

O servidor gerenciador é responsável pelo monitoramento do status dos servidores de processamento e interligá-los na estrutura lógica do Cluster

Os servidores de processamento são responsáveis pela carga de todas as informações a serem utilizadas no processo, tendo como principal finalidade a otimização no tempo da respostas aos comandos a eles submetidos.

O switch interliga os servidores e o computador pessoal utilizando cabos par-trançados de categoria 5E.

O diagrama esquemático da infra-estrutura utilizada é apresentada na Figura 9.



**Figura 9** - Estrutura da rede do cluster de banco de dados utilizado na simulação e otimização do modelo de Ritchie.

### 3.5.3 Forma de conexão ao Cluster

O método de acesso ao Cluster foi o *ODBC (Open Data Base Connectivity)* que é um padrão para acesso a Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados, definido por um conjunto de interfaces que permitem o uso de linguagens de programação capazes de utilizá-la para ter acesso a uma vasta gama de bases de dados distintas sem a necessidade de codificar métodos de acesso especializados.

O uso do *ODBC*, através da implementação específica da linguagem SQL, tornou a comunicação com a base de dados transparente, o seu procedimento de instalação e configuração está no anexo D.5.1.

### 3.6 PROGRAMA DE MODELAGEM POR SISTEMAS DINÂMICOS – VENSIM

O programa utilizado para a modelagem por sistemas dinâmicos foi o Vensim DSS for Windows version 5.9 (*Double precission*), produzido pela Ventana Simulation Enviroment. O Vensim usa uma interface que pode ser pensada como uma mesa e como um conjunto de ferramentas, trabalhando com a seta que indica o fluxo, a Var que indica a existência de uma variável que pode ou não ser uma constante e a Caixa que é um estoque ou variável de armazenamento.

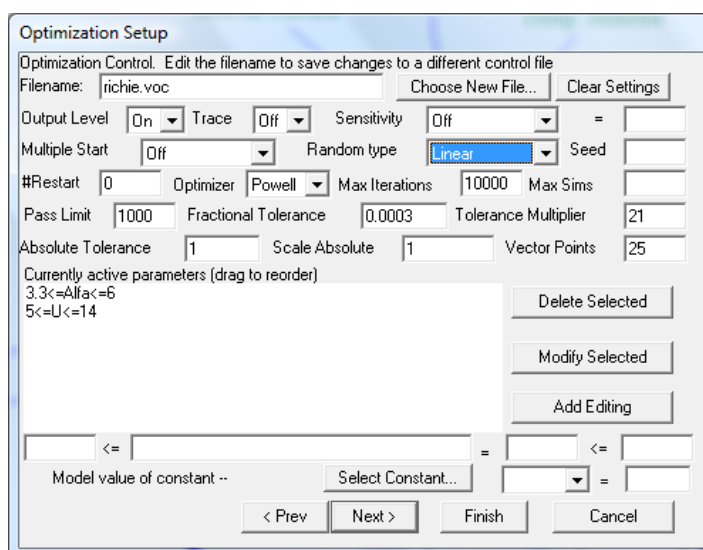
Os recursos computacionais utilizado no Vensim foram a simulação (*Simulation*), análise de sensibilidade (*Start Sensitivity Simulation*) e a otimização (*Begin Optimization*).

A forma de utilização do Vensim está no anexo D.

### 3.7 OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

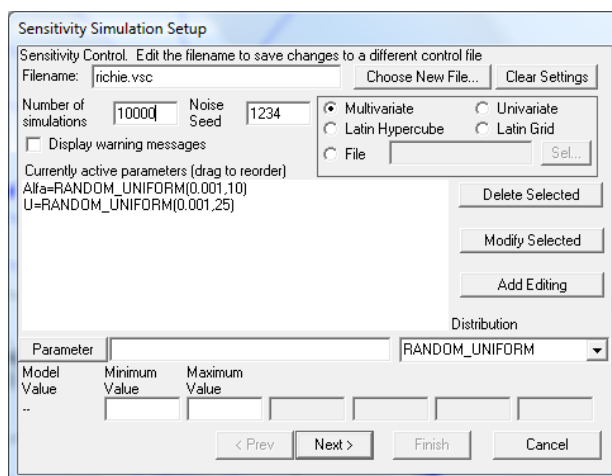
Para a otimização foi utilizado o recurso do Vensim chamado *Begin Optimization* que tem como parâmetros de entrada as variáveis a serem pesquisadas e o método de aleatoriedade. A análise de sensibilidade foi realizada utilizando o opção *Start Sensitivity Simulation*.

Para fazer a pesquisa dos parâmetros  $U$  e  $\alpha$  foram realizadas 27.004 simulações utilizando a técnica de randomização Linear, com tolerância fracional de 0.0003, tendo um número máximo de interações de 10.000 e sendo otimizado pelo algoritmo proprietário *Powell* (Figura 10).



**Figura 10** - Configurações dos parâmetros de Otimização no programa Vensim

Para o processo de Análise de Sensibilidade foram realizados 10.000 simulações, utilizando a distribuição randômica uniforme da técnica Multivariada (Figura 11).



**Figura 11** - Configurações dos parâmetros da simulação da Análise de Sensibilidade no programa Vensim

Foi utilizado o teste não paramétrico U de Mann-Whitney como método validador do modelo criado para a simulação da evapotranspiração do modelo de Ritchie, utilizando o programa SPSS 16.0, de Wilcoxon como ferramenta para a obtenção do valor do teste.

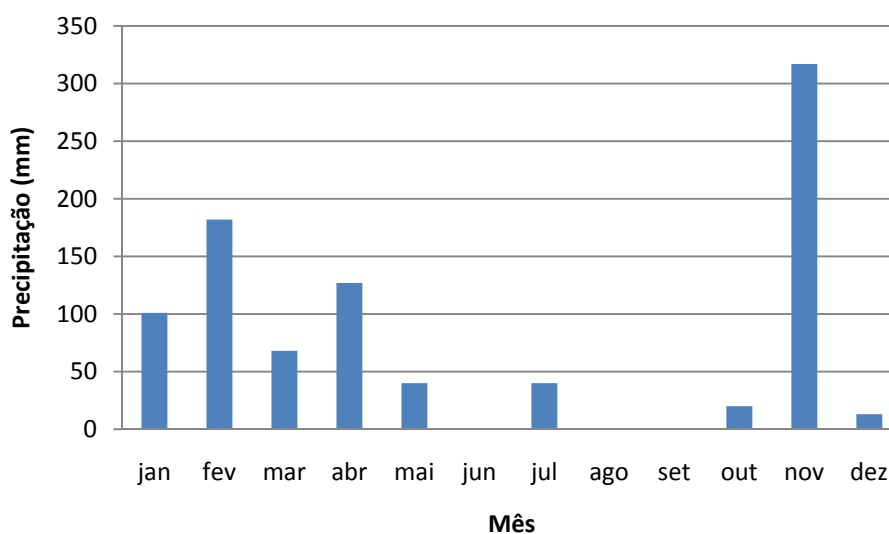
A análise de sensibilidade é uma técnica que procura determinar o efeito de alterações das variáveis dependentes na função objetivo. No caso, desenvolveu-se um mapa por krigagem relacionando  $\alpha$  (X),  $U$  (Y) e a evapotranspiração na fase dois (Z). Os procedimentos geoestatísticos foram aplicados com o programa GS+ 9.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS

#### 4.1.1 Precipitação

A precipitação total no período compreendido entre 26 de janeiro a 31 de dezembro de 2007 foi de 908 mm (Tabela 1), sendo que o maior índice de precipitação ocorreu no mês de novembro (BIUDES, 2008). Na Figura 12 é apresentada as variações das chuvas (mm) durante os meses do ano de 2007.



**Figura 12** – Precipitação mensal no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal, durante o ano de 2007.

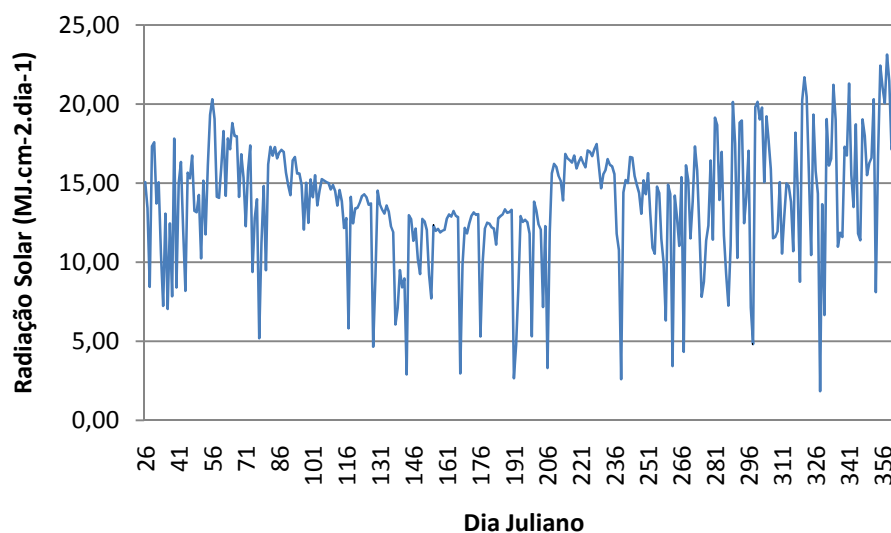
Os meses que tiveram a maior precipitação foram: novembro com 317 mm, fevereiro com 182 mm, abril com 127 mm e janeiro com 101 mm. Os meses que não tiveram nenhum registro de precipitação foram: junho, agosto e setembro (Tabela 1).

**Tabela 1** - Soma mensal da precipitação (mm) durante o ano de 2007.

| Meses     | Precipitação (mm) |
|-----------|-------------------|
| Janeiro   | 101               |
| Fevereiro | 182               |
| Março     | 68                |
| Abril     | 127               |
| Maio      | 40                |
| Junho     | 0                 |
| Julho     | 40                |
| Agosto    | 0                 |
| Setembro  | 0                 |
| Outubro   | 20                |
| Novembro  | 317               |
| Dezembro  | 13                |
| Total     | 908               |

#### 4.1.2 Radiação solar incidente

A radiação solar incidente no cambarazal apresentou padrão semelhante da variação sazonal (Figura 13). As maiores médias da radiação solar ocorreram na estação chuvosa (Tabela 2), tendo seu maior valor em dezembro,  $532,35 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

**Figura 13** – Radiação solar diária no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal durante o ano de 2007

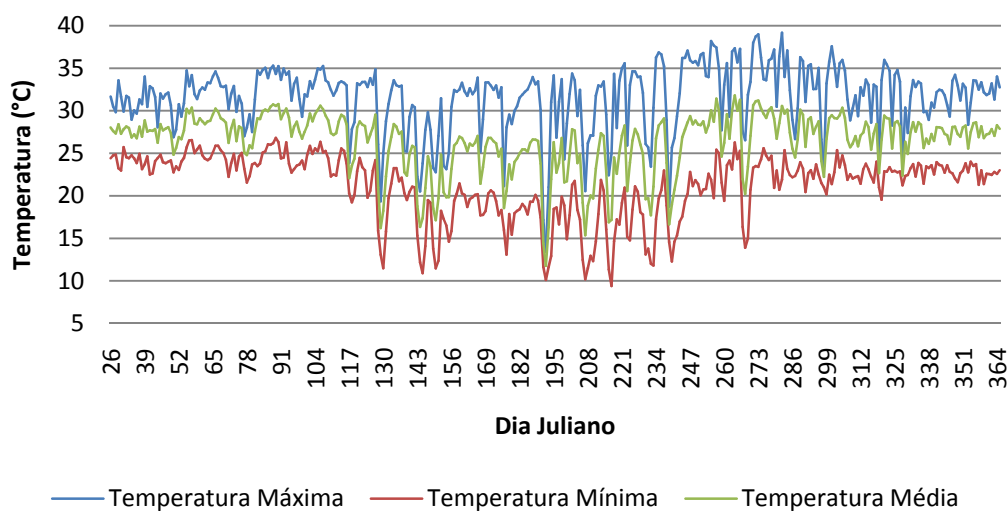
Os meses que tiveram os maiores valores acumulado de radiação solar foram: dezembro com  $532,35 \text{ (MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1})$ ; agosto com  $476,20 \text{ (MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1})$  e março com  $472,43 \text{ (MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1})$ .

**Tabela 2** - Radiação solar total mensal incidente diária (MJ m<sup>-2</sup> Mês<sup>-1</sup>)

| Meses     | MJ.m <sup>-2</sup> Mês <sup>-1</sup> |
|-----------|--------------------------------------|
| Janeiro   | 71,84                                |
| Fevereiro | 379,51                               |
| Março     | 472,43                               |
| Abril     | 423,18                               |
| Maió      | 353,25                               |
| Junho     | 344,89                               |
| Julho     | 363,19                               |
| Agosto    | 476,20                               |
| Setembro  | 391,05                               |
| Outubro   | 442,37                               |
| Novembro  | 435,88                               |
| Dezembro  | 532,35                               |
| Total     | 4686,14                              |

#### 4.1.3 Temperatura do ar e umidade relativa

A temperatura do ar apresentou sazonalidade durante o ano (Figura 14), com temperatura média máxima de 34,99°C em setembro e a menor média da temperatura máxima de 28,87°C em maio (Tabela 3).



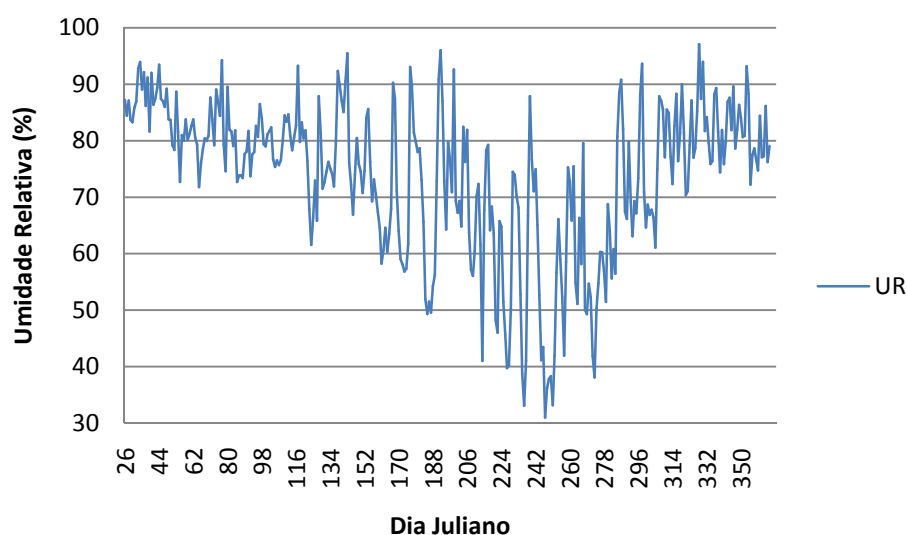
**Figura 14** - Temperatura máxima (°C), mínima (°C) e média no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal durante o ano de 2007

Na estação seca teve a temperatura média máxima de 34,99°C (setembro) e na estação chuvosa teve a temperatura média máxima de 33,64°C (outubro). A maior diferença entre as temperaturas máxima e mínima na estação seca foi em agosto, tendo a diferença de 13,95°C e na estação chuvosa 10,80°C em outubro

**Tabela 3** - Média mensal da temperatura máxima (°C), da temperatura mínima (°C) e da temperatura média mensal no ano de 2007.

| Meses        | Temperatura máxima mensal | Temperatura mínima mensal | Temperatura média mensal |
|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Janeiro      | 31,44                     | 24,04                     | 26,78                    |
| Fevereiro    | 31,17                     | 24,27                     | 26,70                    |
| Março        | 32,54                     | 24,59                     | 27,51                    |
| Abril        | 32,49                     | 23,85                     | 27,25                    |
| Maio         | 28,87                     | 18,62                     | 23,08                    |
| Junho        | 30,34                     | 18,37                     | 23,70                    |
| Julho        | 29,24                     | 16,49                     | 22,24                    |
| Agosto       | 30,64                     | 16,69                     | 23,24                    |
| Setembro     | 34,99                     | 21,48                     | 28,00                    |
| Outubro      | 33,64                     | 22,84                     | 27,59                    |
| Novembro     | 31,86                     | 22,62                     | 26,01                    |
| Dezembro     | 31,92                     | 22,88                     | 26,44                    |
| Máximo anual | 34,99                     | 24,59                     | 28,00                    |
| Mínimo anual | 28,87                     | 16,49                     | 22,24                    |
| Média anual  | 31,59                     | 21,40                     | 25,71                    |

A Umidade relativa do ar apresentou sazonalidade durante o ano (Figura 15), com a maior média mensal da umidade relativa de 85.90% em fevereiro e a menor média mensal da umidade relativa de 52.53% em setembro (Tabela 3).



**Figura 15** - Umidade Relativa no cambarazal da RPPN SESC - Pantanal durante do ano de 2007

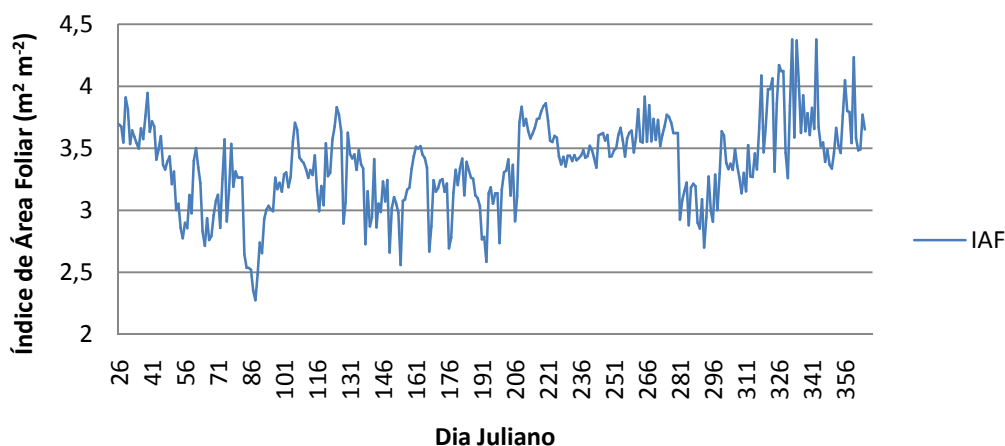


**Tabela 4** - Média mensal da umidade relativa do ano de 2007

| Mês       | UR%   |
|-----------|-------|
| Janeiro   | 85.15 |
| Fevereiro | 85.90 |
| Março     | 80.58 |
| Abril     | 80.70 |
| Maiο      | 77.07 |
| Junho     | 71.57 |
| Julho     | 69.25 |
| Agosto    | 60.35 |
| Setembro  | 52.53 |
| Outubro   | 68.53 |
| Novembro  | 81.41 |
| Dezembro  | 81.53 |
| Máximo    | 85.90 |
| Mínimo    | 52.53 |

#### 4.1.4 Índice de Área Foliar

O Índice de Área Foliar (Figura 16) apresentou um declínio entre janeiro e março, tendo uma relação direta do fato que nessa época é o período característico de pico de inundação, nesse período teve uma precipitação acumulada de 351 mm. Biudes (2008) relata que o processo de diminuição do IAF no cambarazal pode estar associado a um mecanismo do próprio cambara em diminuição do número de folhas induzidas pelo estresses da inundação causada pela falta de areação das raízes.



**Figura 16** - Variação do Índice de Área Foliar do Cambara nas imediações da estação do pantanal (cambarazal) durante o ano de 2007

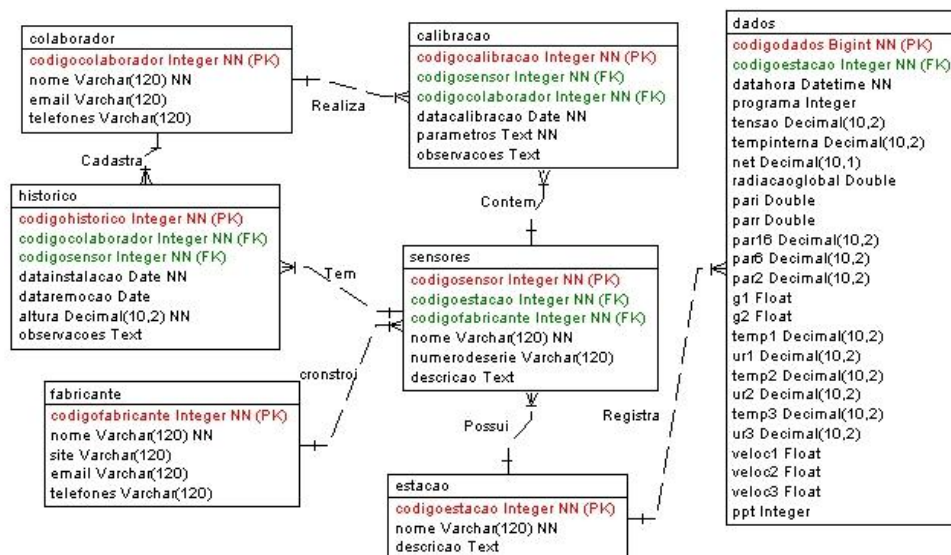
A média do índice da área foliar do cambarazal na estação chuvosa foi de  $3,414 \text{ m}^{-2}$  e na estação seca de  $3,354 \text{ m}^{-2}$ , e a altura do dossel foi de 29m durante todo o ano. O IAF foi menor que o encontrado em florestas de transição Amazônica-Cerrado, que na estação seca tem a importância de 4 a  $4,5 \text{ m}^{-2}$  e na estação chuvosa de 4,5 a  $5 \text{ m}^{-2}$ , valores esses obtidos pelo mesmo método. (VOURLITIS et al., 2002)

**Tabela 5** - Média mensal do Índice de Área Foliar e Média anual do IAF do cambarazal no ano de 2007

| Meses     | IAF  |
|-----------|------|
| Janeiro   | 3,73 |
| Fevereiro | 3,37 |
| Março     | 2,98 |
| Abril     | 3,24 |
| Maio      | 3,25 |
| Junho     | 3,17 |
| Julho     | 3,22 |
| Agosto    | 3,53 |
| Setembro  | 3,60 |
| Outubro   | 3,26 |
| Novembro  | 3,64 |
| Dezembro  | 3,68 |
| Média     | 3,39 |

## 4.2 BANCO DE DADOS DA ESTAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA

A base de dados da torre micrometeorológica do SESC-Pantanal (cambarazal) é apresentada na Figura 17, sendo compostas pelas entidades: COLABORADOR, HISTORICO, CALIBRACAO, SENSORES, FABRICANTE, ESTAÇÃO e DADOS.



**Figura 17** - Diagrama Relacional dos dados da torre micrometeorológica do Pantanal (cambarazal) utilizando a ferramenta Case Studio 2 Versão 2.19 da CharonWare

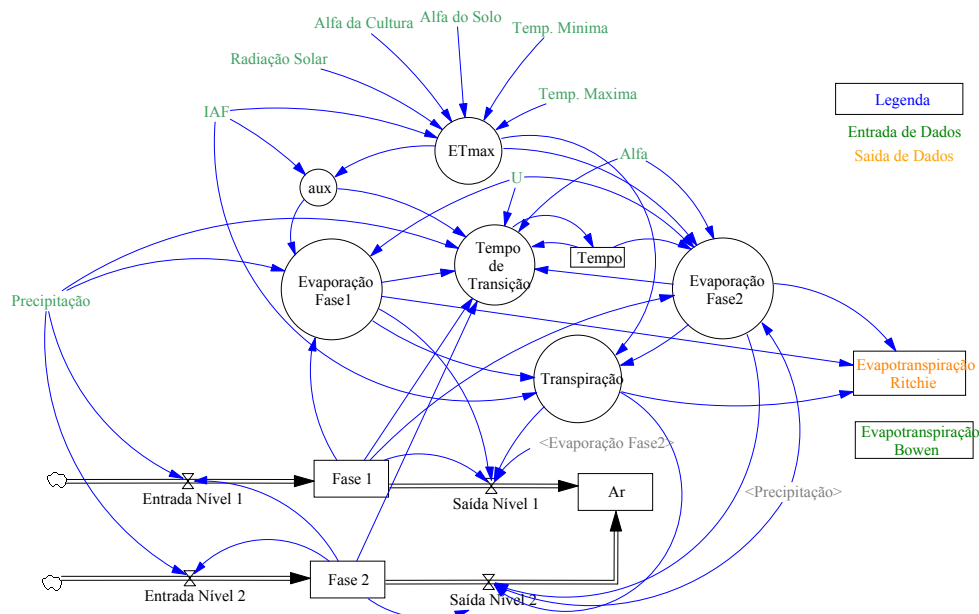
A entidade COLABORADOR é responsável por armazenar as informações básicas dos colaboradores que virão a dar manutenções na estação, podendo cadastrar as alterações dos sensores, que é realizada na entidade HISTORICO, a calibração dos sensores é registrada na entidade CALIBRACAO, o catálogo dos atuais sensores é feita na tabela SENSORES e seus respectivos fabricantes, na entidade FABRICANTES.

Um dos pontos primordiais dessa base de dados é a entidade DADOS, nela estarão contidos todos os dados registrados no *datalogger* da torre micrometeorológica do Pantanal (cambarazal) que serão importados para essa estrutura.

A descrição do banco de dados está detalhada no anexo A, bem como a documentação do modelo conceitual, modelo lógico e modelo físico da base de dados.

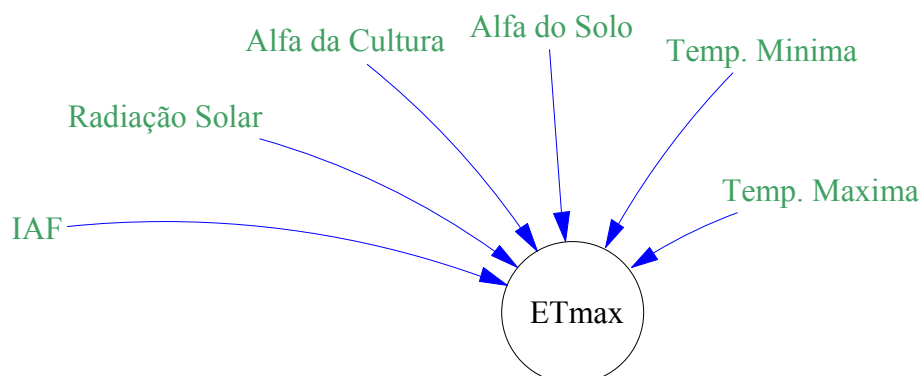
### 4.3 SIMULAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MODELO DE RITCHIE

O diagrama dos fluxos de dados da modelagem da evapotranspiração pelo método de Ritchie é apresentado na Figura 18, este diagrama tem como finalidade apresentar todos os fluxos de dados, suas entradas, seus processamentos e suas saídas. Todo o código fonte desse modelo (Figura 18) está no anexo C.



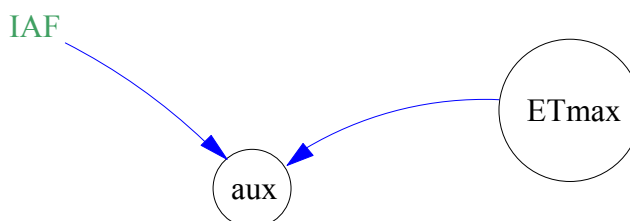
**Figura 18** - Modelo para a evapotranspiração de Ritchie utilizando sistemas dinâmicos

O processo que calcular a evapotranspiração máxima de uma cultura (Figura 19) tem como base a Equação 11 do modelo de Richie, dentro desse processo é calculado a temperatura máxima do fotoperíodo (Equação 16), a equação de equilíbrio (Equação 15) e o  $\alpha_1$  (Equações 12 a 14)



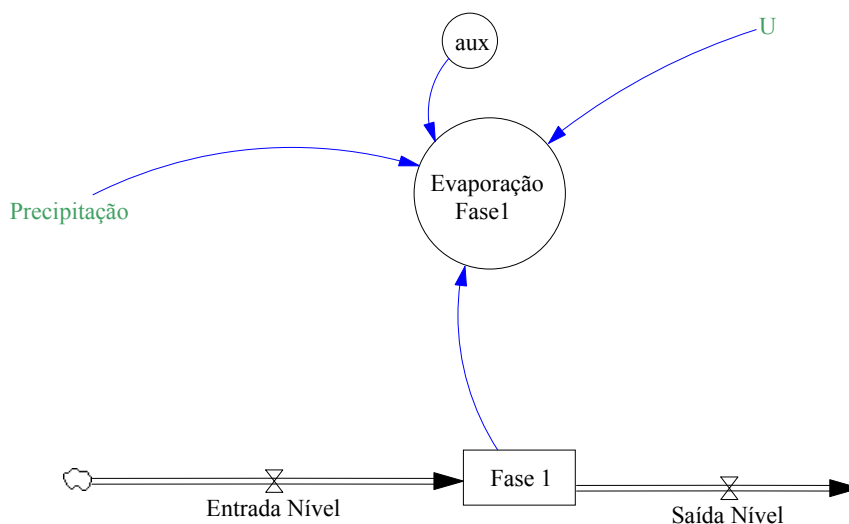
**Figura 19** - Detalhe esquemático do cálculo da evapotranspiração máxima de uma cultura

O processo que calcula a evaporação da fase 1 (Figura 20), fica fora do processo Evaporação Fase 1 com a finalidade de auxiliar no cálculo e evitar a repetição desnecessária desse código, sendo que o seu resultado é necessário para o cálculo do processo da transição de fase, que tem o parâmetro  $U$  como principal referência.



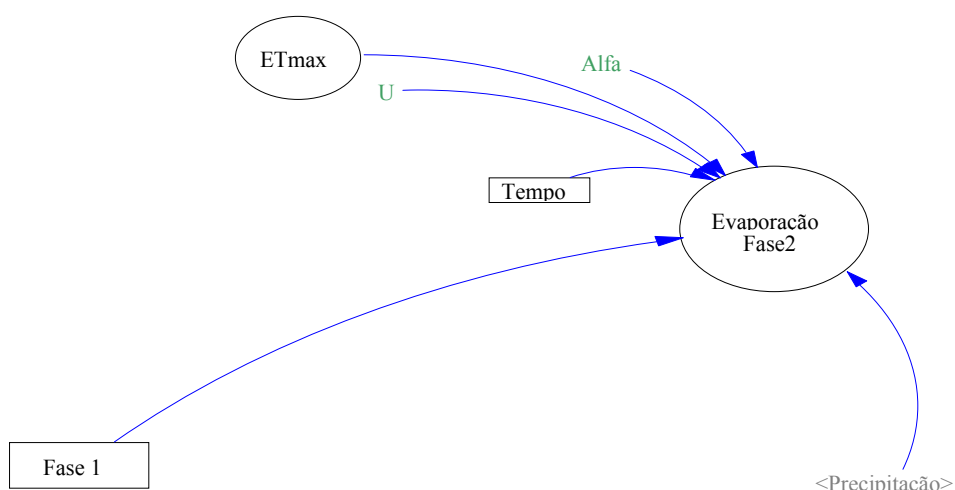
**Figura 20** – Detalhe esquemático do processo auxiliar no cálculo da Evapotranspiração 1 que utiliza os valores da evapotranspiração máxima e o índice de área foliar.

A evaporação da fase 1 (Figura 21) tem seu princípio de funcionamento a verificação da quantidade de água no solo na fase 1 (mm) adicionada à quantidade de chuva no dia (mm) se o valor for maior do que a quantidade a ser evaporada, ele evapora direto na fase 1 (Equações 9 e 10), se não ele dá início à transição de fase entre a fase 1 e a fase 2 de evaporação (Equações 22 e 23).

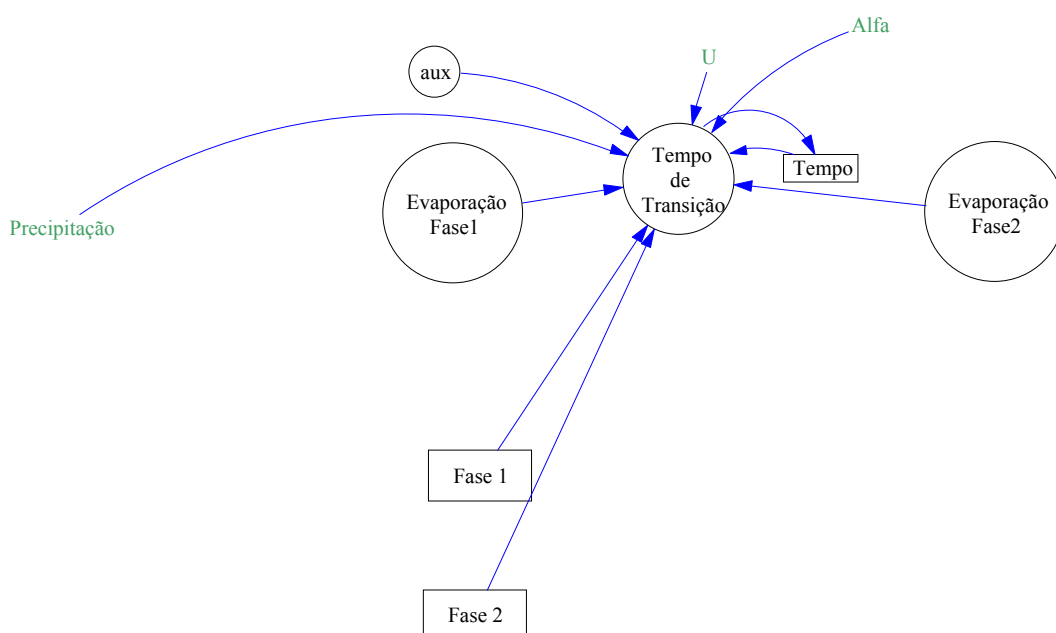


**Figura 21** – Detalhe esquemático do processo que calcula a evaporação da fase 1, que utiliza a quantidade de precipitação (mm), a quantidade de água presente no solo na fase 1 (mm) e o valor de  $U$  (mm)

Quando o processo da evaporação da fase 2 (Figura 22) detecta com base na quantidade de água presente no solo da fase 1, está abaixo da quantidade evaporativa da fase 1, então inicia-se o processo de transição da fase 1 para a fase 2, caso a evapotranspiração já tenha entrado na fase 2 ele calcula com base no tempo (dia) e no  $\alpha$  ( $\text{mm dia}^{-1/2}$ ) a quantidade a ser evaporada (Equação 18 e 19), caso o seu valor seja superior ao da evapotranspiração máxima ele adotará esse valor. O parâmetro que ele utiliza para voltar à fase 1 é verificar se a quantidade de precipitação (mm) é maior que a quantidade já evaporada na fase 2.



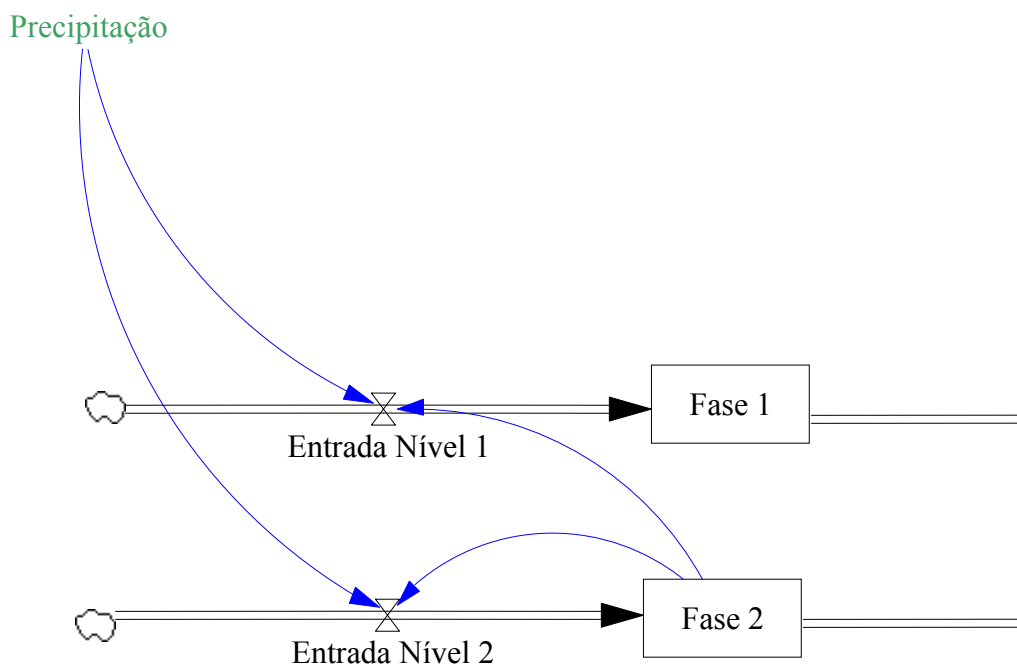
**Figura 22** - Detalhe esquemático do processo que calcula a Fase 2 da evaporação, utilizando tempo de transição da fase 1, evapotranspiração máxima, precipitação e quantidade de água no solo



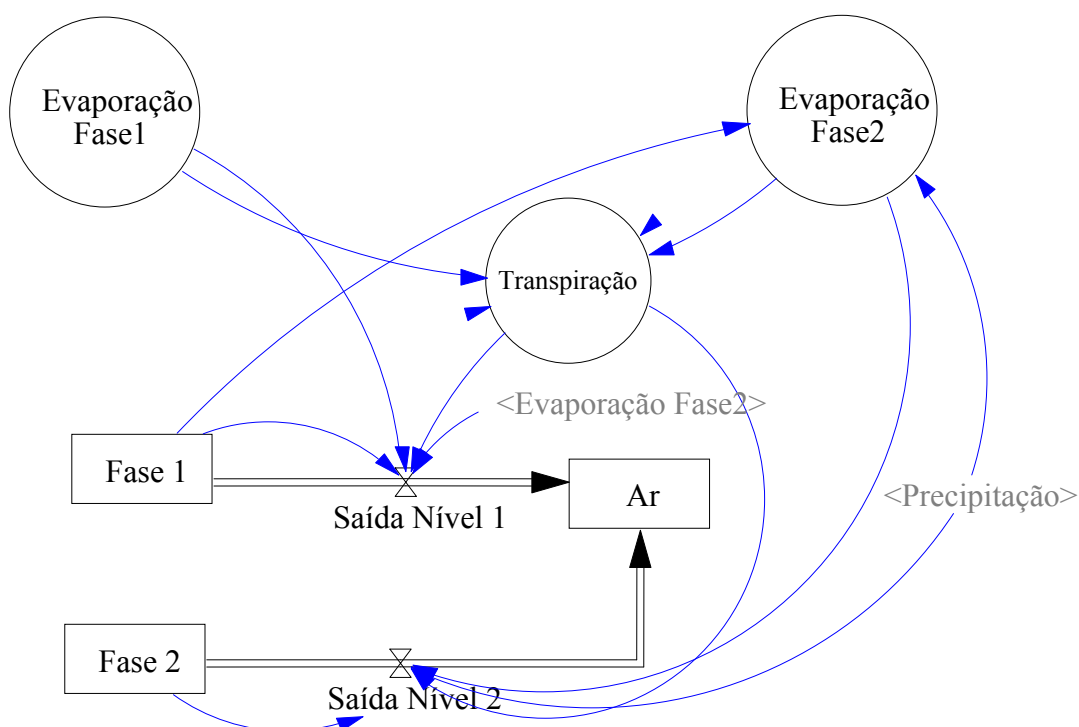
**Figura 23** - Detalhe esquemático do processo que calcula o tempo de transição da fase 1 da evaporação para a fase 2 da evaporação (dia) e o tempo transcorrido na fase 2 da evaporação (dia)

Quando o processo do tempo de transição (Figura 23) detecta que está ocorrendo a mudança da fase 1 da evaporação para a fase 2, ele calcula o tempo que durou essa troca (Equações 21 a 23), caso ele detecte que está ocorrendo a segunda fase da evaporação ele recalcula o tempo (Equação 21) com base na Equação 20.





**Figura 25** - Detalhe esquemático que representa o controle da entrada de água (mm) proveniente da precipitação nos estoques da Fase 1 e Fase 2 do solo



**Figura 26** - Detalhe esquemático do processo de saída da água na fase 1 e fase 2

#### 4.4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Durante o processo de simulação, foi executado o modelo uma vez para que se tivesse uma base de referência para a execução do processo de pesquisa dos de  $\alpha$  e  $U$  que minimizaria a diferença entre as evapotranspirações obtidas por

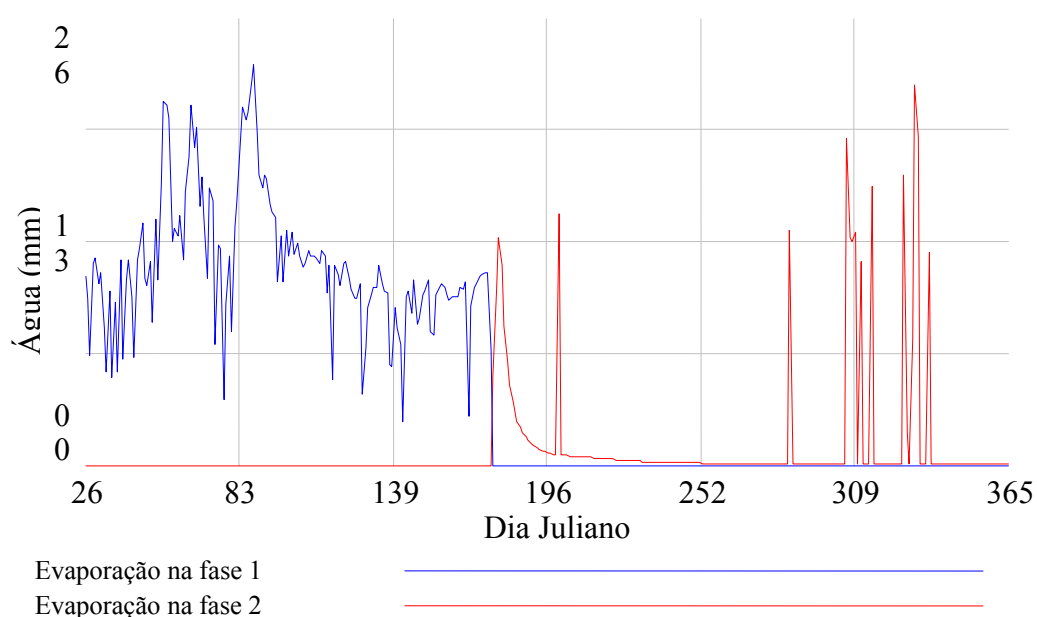


Bowen e Ritchie. Para uma tolerância fracional de 0.0003 foram executadas 27.004 simulações, obtendo-se 10.1952 e 4.93 para  $U$  e  $\alpha$ , respectivamente. Estes valores foram compatíveis com os intervalos fornecidos por RODRIGUES (2005) e PEREIRA (1997) (TABELA 6).

**Tabela 6** - Faixa de valores para o  $U$  e  $\alpha$  fornecido conforme referencial bibliográfico pesquisado.

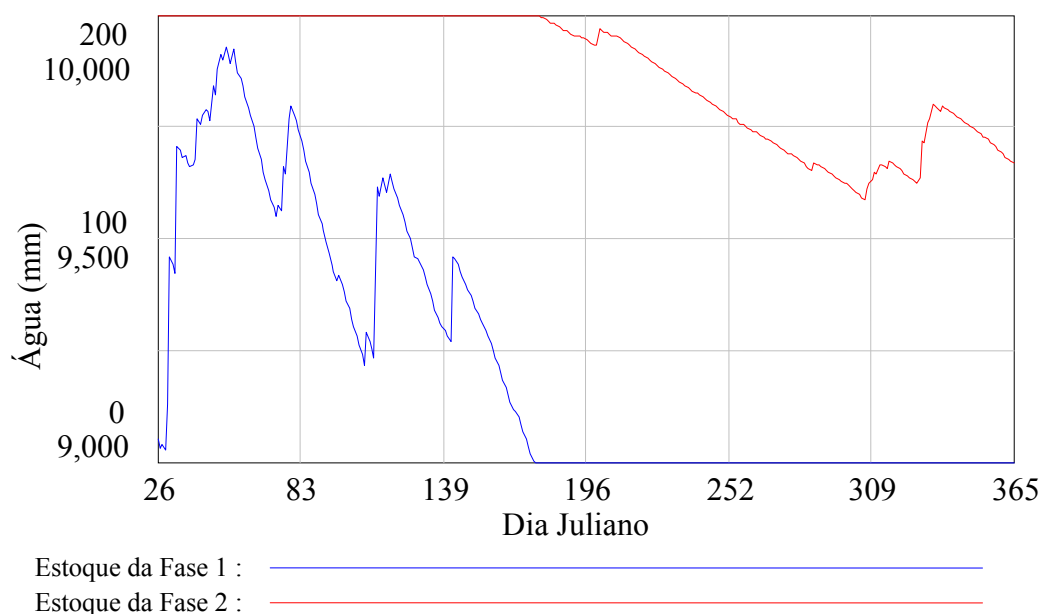
|                  | $U$ (mm)           | $\alpha$              |
|------------------|--------------------|-----------------------|
| RODRIGUES (2005) | 5 (Solo Arenoso) a | 3,3 (Solo Arenoso)    |
|                  | 14 (Solo Argiloso) | 6,0 (Solo Argiloso)   |
| PEREIRA (1997)   | 6 (Solo Arenoso) a | 3,34 (Solo Arenoso) a |
|                  | 12 (Solo Argiloso) | 5,8 (Solo Argiloso)   |

A troca da fase 1 para a fase 2 foi observada próximo ao dia 180 (Figura 27).



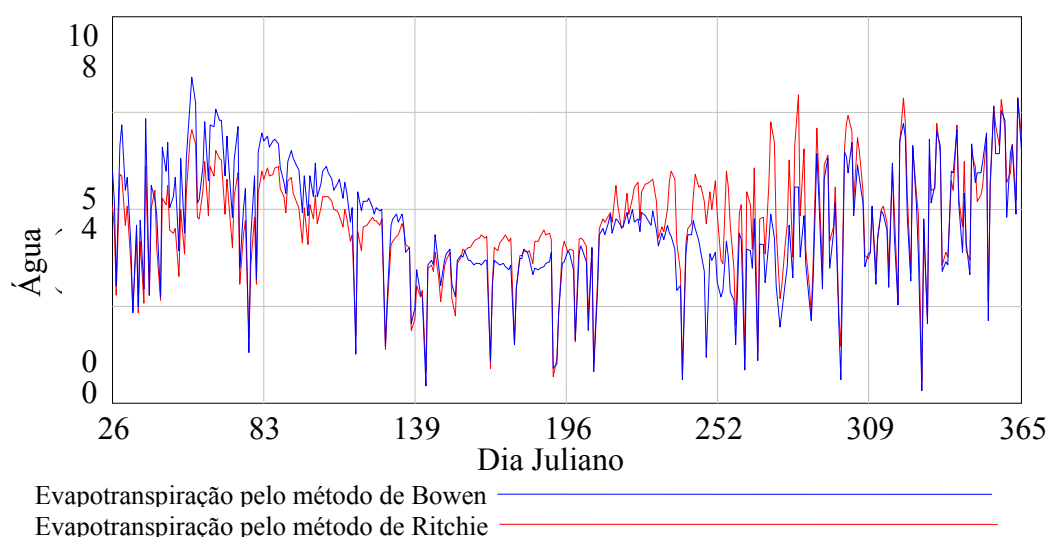
**Figura 27** - Resultado da evaporação da fase 1 e da fase 2 do modelo otimizado.

A demonstração do balanço de água nos estoques da fase 1 e fase 2 (Figura 28), simula a quantidade de água que entrou pela precipitação (mm) e pela quantidade de água que saiu pelo processo de evapotranspiração (mm), sendo que é possível identificar claramente o processo de inundação do pantanal e o processo de estiagem.



**Figura 28** - Resultado da quantidade de água nos estoques da fase 1 e fase 2 do solo do modelo otimizado.

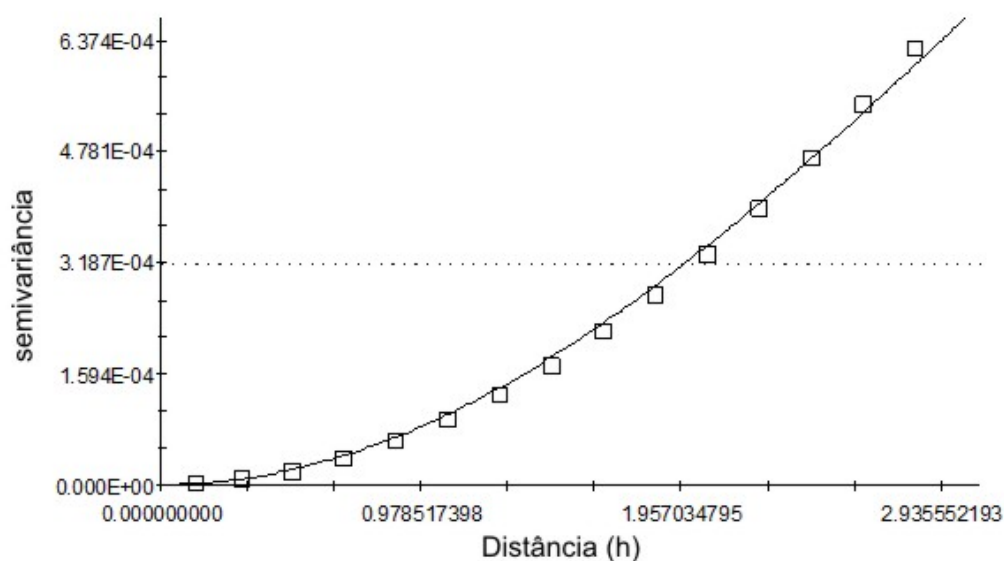
O modelo que simula o método de evapotranspiração de Ritchie foi otimizado com base nos cálculos da evapotranspiração pelo método de Bowen (Figura 29), não sendo detectada diferença significativa entre os valores estimados pelos dois métodos, obteve-se o nível de significância de 0.673.



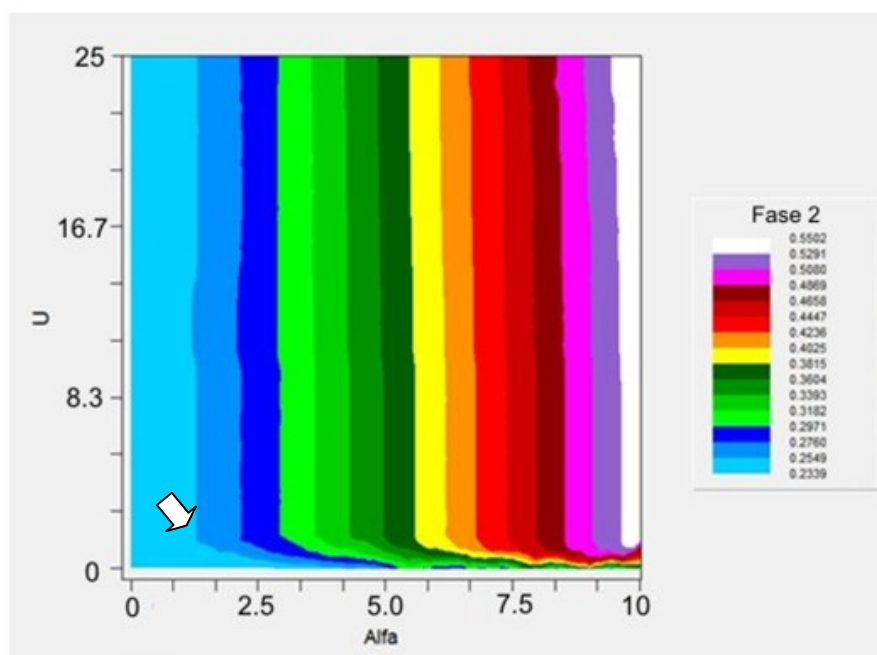
**Figura 29** - Comparativo entre os valores da evapotranspiração pelos métodos de Bowen e Ritchie.

## 4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para a fins de padronização da escala das variáveis os valores de  $U$  e  $\alpha$  foram padronizados para média 0 (zero) e desvio padrão 1 (hum). O semivariograma isotrópico do modelo pode ser observado na Figura 30, com ajuste para a função gaussiana (sem patamar) e coeficiente de determinação de 99.8% ( $C_0 = 0.00000$ ,  $C_0 + C = 0.00201$ ,  $A_0 = 4.759000000$ ,  $r^2 = 0.998$ ,  $RSS = 1.626E-09$ ).



**Figura 30** - Semivariograma da evapotranspiração na fase 2 em relação a  $U$  e  $\alpha$ .



**Figura 31** - Krigeagem de Evapotranspiração da Fase dois por Ritchie (mm) em relação à  $\alpha$  (mm) e  $U$  (mm).

O ponto indicado pela seta na Figura 38 represente o ponto em que inicia a mudança de  $\alpha$  em relação funcional com  $U$ , reduzindo gradativamente a sua elasticidade.

## 5. CONCLUSÕES

A técnica da análise estruturada foi compatível com a ferramenta de modelagem Vensim.

O cluster de bancos de dados foi robusto e estável para operacionalizar o acesso e manutenção das informações utilizadas em todos os procedimentos de simulação e calibração do modelo de Ritchie.

O processo de calibração resultou nos valores 10.1952 de  $U$  e 4.93 de  $\alpha$ .

Os valores simulados pelo método de Ritchie e estimados pelo método da razão de Bowen não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ).

Por meio da análise de sensibilidade dos parâmetros  $U$  e  $\alpha$ , verificou-se o ponto em que  $\alpha$  inicia sua influência direta sobre  $U$ . Reduzindo a elasticidade de  $U$ .

Dessa forma, o protocolo experimental utilizado neste trabalho pode ser avaliado como adequado para a estimativa dos parâmetros físicos do solo  $U$  e  $\alpha$ , assim como permitiu a avaliação da sensibilidade destes em relação a evapotranspiração e fornece um estudo de caso positivo quanto a aplicação de modelagem por sistemas dinâmicos e clusters de bancos de dados em objetos de pesquisa no âmbito da física ambiental.

## 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### 6.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

BIUDES, M.S. **Balanço de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal**. 2008. 142 f. Tese ( Doutorado em agricultura tropical ). Faculdade de Agronomia e medicina veterinaria, UFMT, Mato Grosso. 2008

BOOCH, G. et al. **The Unified Modeling Language User Guide**. Addison Wesley, 1998.

BOOCH, G. **Object Oriented Analysis and Design with Applications**. Addison Wesley, 2a. ed., 1994.

BOOCH, G. **UML: guia do usuário / Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson**. Tradução de Fábio Freitas da Silva e Cristina de Amorim Machado. Rio de Janeiro : Elsevire, 2005 – 4º Reimpressão. f. 474

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1º Edição. Editora Edgard Blücher, São Paulo – SP, 1999

COAD, P, YOURDON, E. **Análise Baseada em Objetos**. Campus, 2a. Ed, 1994.

COAD, P, YOURDON, E. **Projeto Baseado em Objetos**. Campus, 1993. .

COSTA, Hélder Leal da. **Dinâmica de Sistemas – Vensim PLE**. Disponível em <http://www.vensim.com/ffiles/portuguese.zip> . Acessado em Novembro de 2008

DANTAS, M. **Computação distribuídas de Alta Desempenho: Redes, Clusters e Grids Computacionais**. Rio de Janeiro : Axcel, 2005 f.278

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de banco de dados / C. J. Date**; Tradução de Daniel Vieira – Rio de Janeiro : Elsevire, 2003 – 5º Reimpressão.

DE MARCO, T. **Controle de Projetos de Software**. Campus, 1989.

GANE, C. SARSON, T. **Análise Estruturada de Sistemas**. Editora LTC, 1983

GHEZZI, C.; JAZAYERI, M.; MANDRIOLI, D. **Fundamentals of Software Engineering**, Prentice Hall, 1991.

HAYES, F.; JEREMAES, P. **Desenvolvimento Orientado a Objetos: O Método Fusion**, Rio de Janeiro, Campus, 1994.

JACKSON, M.A. **Software Requirements and Specifications: A Lexicon of practice, principles and prejudices**, Addison-Wesley, 1995.

MAFFEO, B. **Engenharia de Software e Especificação de Sistemas**. Campus, 1992.

MARTIN, James. **Principles of Data-Base Management**, Prentice-Hall, 1976

MELO, lafayette batista. **Análise Estruturada**. Disponível em [http://lafa.pro.br/análiseprojeto/análise\\_estruturada.doc](http://lafa.pro.br/análiseprojeto/análise_estruturada.doc) . Acessado em Novembro de 2008

MONSI, M.; SAEKI, T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. **Japanese Journal of Botany**, f. 22-52, 1953

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1981, 440F

PENDER, T. **UML, a Bíblia / Tom Pender**; Tradução de Daniel Vieira – Rio de Janeiro : Elsevier, 2004 – 2ª Reimpressão. f. 711

PEREIRA, A.R. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba : FEALQ, 1997. 138 F

PHILIP, J. R. **Evaporation, and moisture and heat fields in the soil**. Journal of Meteorology, Washington, DC, v. 14, p 355-366, 1957

PHILIP, J. R. Evaporation, and moisture and heat fields in the soil. **Journal of Meteorology**, Washington, DC, v. 14, p. 354-366, 1957

PITANGA, M. **Computação em cluster**. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2003. f. 344

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. Makron Books, 3a Edição, 1995.

RAUMBAUGH, J. **Modelagem e projetos baseados em objetos com UML 2 / James Rumbaugh... [et al.]; tradução Daniel Vieira**. 2º edição. Rio de Janeiro : Elsevier, 2006. f 496

RODRIGUES, L. N. AZEVEDO, J.A. SOCCOL, O. J. SILVA, E.M. **Modelo de Ritchie: descrição e aplicação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 29p.

SILBERSCHATZ, A. **Sistemas de banco de dados / Abraham Silberschatz, Henry F. Korth, S. Sudarshan**; Tradução de Daniel Vieira – Rio de Janeiro : Elsevire, 2006. f. 781

STRACK, J. **GPSS: modelagem e simulação de sistemas**. Rio de Janeiro : LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 174p , 1984

SUEHRING, S. **MySQL, a Bíblia / Steve Suehring**; Tradução Edson Furmankiewicz. Rio de Janeiro : Campus, 2002.

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2, Recife – Pernambuco, Brasil, 1996 f. 463

VOURLITS, G.L; NOGUEIRA, J.S.; PRIANTE FILHO, N.; HOEGER, W.; RAITER, F.; BIUDES, M.S.; ARRUDA, J.C.; CAPISTRANOM V.B.; FARIA, J.L.B; LOBO, F.A. The sensitivity of diel and vapor exchange of tropical transition Forest to seasonal variation in meteorology and water availability. **Earth Interactions**, v.9, p.1-23, 2005

YOURDON, E. **Análise estruturada moderna / Edward Yourdon; tradução Dalton Conde de Alencar**. Rio de Janeiro: Campus, 1992 f. 836

## 6.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

FOWLER, M., SCOTT, K. **UML Distilled, Applying the Standard Object Modeling Language**. Addison Wesley, 1997.

JUNIOR, Osmar de Oliveira Braz. **Apostila de Engenharia de Software 2**. Tubarão, Santa Catarina. Disponível em <http://tecl.unisul.rct-sc.br/osmarjr/> . Acessado em Novembro de 2008

PAGE-JONES, M. **Gerenciamento de Projetos**. Mc-Graw Hill, 1990.



## ANEXOS

### Anexo A - PROJETO DE BANCO DE DADOS

#### A.1 INTRODUÇÃO

Este projeto tem como objetivo documentar a base de dados que será gerada para armazenar as informações registradas pela torre micrometeorológica do Pantanal.

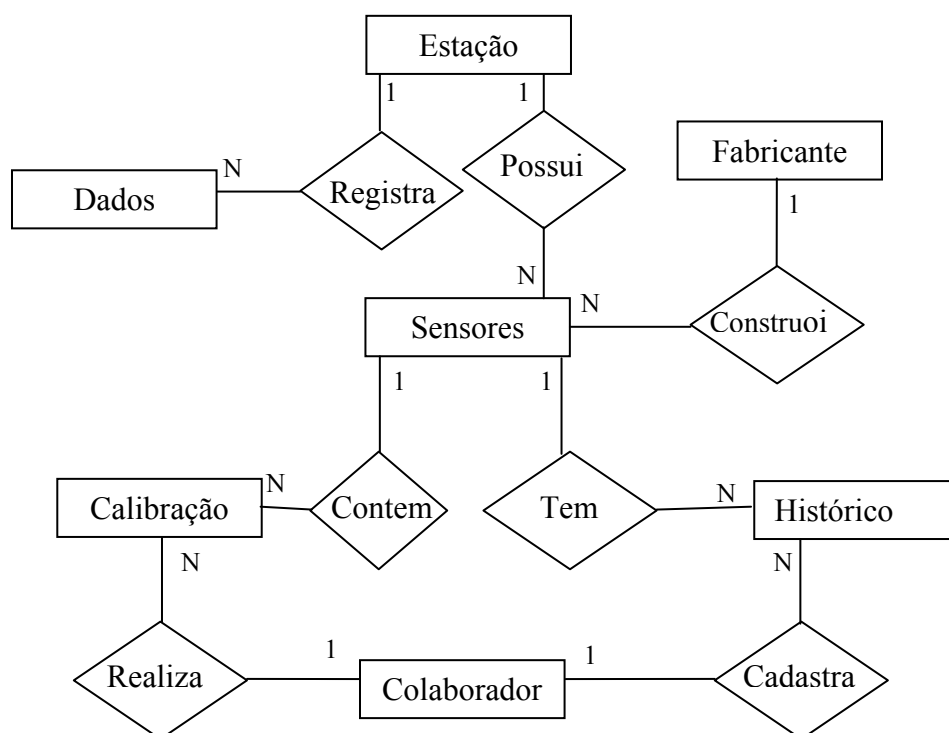
A documentação é dividida em três partes: O modelo conceitual, modelo lógico e físico.

O modelo conceitual que visa apresentar a visão geral do banco.

O modelo lógico é composto pelo diagrama de entidade e relacionamento que apresenta como as entidades estão relacionadas entre si e pelo dicionário de dados que descreve e especifica como são os tipos das informações armazenadas.

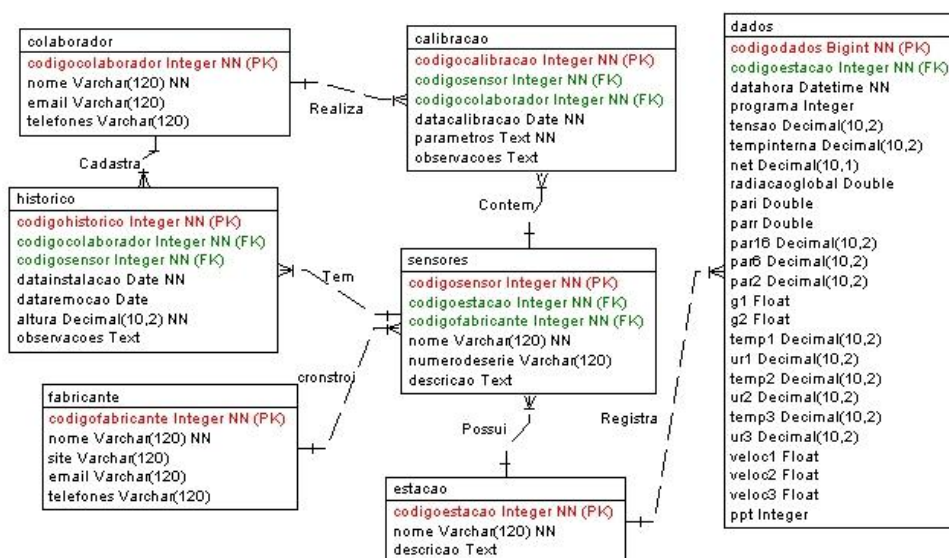
O modelo físico demonstra a estrutura física, resumidamente é o comando SQL propriamente dito.

#### A.2 MODELO CONCEITUAL



## A.3 MODELO LÓGICO

### A.3.1 Diagrama Relacional



### A.3.2 Dicionário de Dados

**Tabela: calibracao**

| Chave | Atributo          | Tipo | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição                                         |
|-------|-------------------|------|---------|---------|------|--------------|---------------------------------------------------|
| PK    | codigocalibracao  | Int  | 10      |         | Não  |              | Auto incremento                                   |
| FK    | codigosensor      | Int  | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela sensor                |
| FK    | codigocolaborador | Int  | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela colaborador           |
|       | datacalibracao    | Date |         |         | Não  |              | Data da calibração do sensor                      |
|       | parametros        | Text |         |         | Não  |              | Parâmetros de calibração como equação de correção |
|       | observacoes       | Text |         |         | Sim  |              | Observações sobre o processo de calibração        |

**Tabela: colaborador**

| Chave | Atributo          | Tipo    | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição               |
|-------|-------------------|---------|---------|---------|------|--------------|-------------------------|
| PK    | codigocolaborador | Int     | 10      |         | Não  |              | Auto incremento         |
|       | nome              | Varchar | 120     |         | Não  |              | Nome do colaborador     |
|       | email             | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Email do colaborador    |
|       | telefones         | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Telefone do colaborador |

**Tabela: dados**

| Chave | Atributo       | Tipo     | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição                                                            |
|-------|----------------|----------|---------|---------|------|--------------|----------------------------------------------------------------------|
| PK    | codigodados    | Bigint   | 20      |         | Não  |              | Auto incremento                                                      |
| FK    | codigoestacao  | Int      | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela estacao                                  |
|       | datahora       | datetime |         |         | Não  |              | Armazenada a data e hora                                             |
|       | programa       | Int      |         |         |      |              | Versão do programa micrometeorologico que esta rodando no datalogger |
|       | tensao         | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Valor da tensão de alimentação do datalogger expressa em volts       |
|       | tempinterna    | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Temperatura interna do datalogger em °C                              |
|       | net            | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Saldo Radiômetro, a 33 metros, $W.m^{-2}$                            |
|       | radiacaoglobal | Double   |         |         |      |              | Piranômetro a 33 metros, $W.m^{-2}$                                  |
|       | pari           | Double   |         |         |      |              | Sensor Quântico Incidente, a 33 metros, $micmol.m^{-2}s^{-1}$        |
|       | parr           | Double   |         |         |      |              | Sensor Quântico Refletido, a 33 metros, $micmol.m^{-2}s^{-1}$        |
|       | par16          | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Sensor Quântico Incidente, a 16 metros, $micmol.m^{-2}s^{-1}$        |
|       | par6           | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Sensor Quântico Incidente, a 6 metros, $micmol.m^{-2}s^{-1}$         |
|       | par2           | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Sensor Quântico Incidente, a 2 metros, $micmol.m^{-2}s^{-1}$         |
|       | g1             | Float    |         |         |      |              | Fluxímetro de calor no solo, a 2cm de profundidade, $W.m^{-2}$       |
|       | g2             | Float    |         |         |      |              | Fluxímetro de calor no solo, a 2cm de profundidade, $W.m^{-2}$       |
|       | temp1          | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Temperatura do ar, a 37,7 m, °C                                      |
|       | ur1            | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Umidade Relativa, a 37,7 m, %                                        |
|       | temp2          | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Temperatura do ar, a 35,7 m, °C                                      |
|       | ur2            | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Umidade Relativa, a 35,7 m, %                                        |
|       | temp3          | Decimal  | 10,2    |         |      |              | Temperatura do ar,                                                   |

|  |        |         |      |  |  |  |                                                  |
|--|--------|---------|------|--|--|--|--------------------------------------------------|
|  |        |         |      |  |  |  | a 33,7 m , °C                                    |
|  | ur3    | Decimal | 10,2 |  |  |  | Umidade Relativa, a 33,7 m , %                   |
|  | veloc1 | Float   |      |  |  |  | Velocidade do vento, a 37,7 m, m.s <sup>-1</sup> |
|  | veloc2 | Float   |      |  |  |  | Velocidade do vento a 35,7 m, m.s <sup>-1</sup>  |
|  | veloc3 | Float   |      |  |  |  | Velocidade do vento a 33,7 m, m.s <sup>-1</sup>  |
|  | ppt    | Int     |      |  |  |  | Precipitação, 34m, mm                            |

**Tabela: estacao**

| Chave | Atributo      | Tipo    | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição                                    |
|-------|---------------|---------|---------|---------|------|--------------|----------------------------------------------|
| PK    | codigoestacao | Int     | 10      |         | Não  |              | Auto incremento                              |
|       | nome          | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Nome da estação                              |
|       | descricao     | Text    |         |         | Sim  |              | Descrição da torre como localização e altura |

**Tabela: fabricante**

| Chave | Atributo         | Tipo    | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição                               |
|-------|------------------|---------|---------|---------|------|--------------|-----------------------------------------|
| PK    | codigofabricante | Int     | 10      |         | Não  |              | Auto incremento                         |
|       | nome             | Varchar | 120     |         | Não  |              | Nome do Fabricante                      |
|       | site             | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Site do fabricante                      |
|       | email            | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Email para contato com o fabricante     |
|       | telefones        | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Telefones para contato com o fabricante |

**Tabela: historico**

| Chave | Atributo          | Tipo | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição                               |
|-------|-------------------|------|---------|---------|------|--------------|-----------------------------------------|
| PK    | codigohistorico   | Int  | 10      |         | Não  |              | Auto incremento                         |
| FK    | codigocolaborador | Int  | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela colaborador |
| FK    | codigosensor      | Int  | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela sensor      |
|       | datainstalacao    | Date |         |         | Não  |              | Data da instalação do sensor na torre   |

|  |             |         |      |  |     |  |                                            |
|--|-------------|---------|------|--|-----|--|--------------------------------------------|
|  | dataremocao | Date    |      |  | Sim |  | Data de remoção do sensor na torre         |
|  | altura      | Decimal | 10,2 |  | Não |  | Altura do sensor na torre                  |
|  | observacoes | Text    |      |  | Sim |  | Observações sobre o processo de calibração |

**Tabela: sensores**

| Chave | Atributo         | Tipo    | Tamanho | Mascara | Nulo | Valor Padrão | Descrição                              |
|-------|------------------|---------|---------|---------|------|--------------|----------------------------------------|
| PK    | codigosensor     | Int     | 10      |         | Não  |              | Auto incremento                        |
| FK    | codigoestacao    | Int     | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela estação    |
| FK    | codigofabricante | Int     | 10      |         | Não  |              | Chave estrangeira da tabela fabricante |
|       | nome             | Varchar | 120     |         | Não  |              | Nome do sensor                         |
|       | numerodeserie    | Varchar | 120     |         | Sim  |              | Número de série do sensor              |
|       | descricao        | Text    |         |         | Sim  |              | Observações sobre o sensor             |

## A.4 MODELO FÍSICO

```

/*
Created          20/6/2008
Modified         27/5/2009
Project
Model
Company
Author
Version
*/

```

```

drop table IF EXISTS colaborador;
drop table IF EXISTS calibracao;
drop table IF EXISTS fabricante;
drop table IF EXISTS historico;
drop table IF EXISTS sensores;
drop table IF EXISTS dados;
drop table IF EXISTS estacao;

```

```

Create table estacao (
    codigoestacao Int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    nome Varchar(120) NOT NULL,
    descricao Text,
    Primary Key (codigoestacao)) ENGINE=NDBCLUSTER;

```

```

Create table dados (
    codigodados Bigint NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    codigoestacao Int NOT NULL,
    datahora Datetime NOT NULL,
    programa Int,
    tensao Decimal(10,2),
    tempinterna Decimal(10,2),
    net Decimal(10,1),
    radiacaoglobal Double,
    pari Double,
    parr Double,

```

```

    par16 Decimal(10,2),
    par6 Decimal(10,2),
    par2 Decimal(10,2),
    g1 Float,
    g2 Float,
    temp1 Decimal(10,2),
    ur1 Decimal(10,2),
    temp2 Decimal(10,2),
    ur2 Decimal(10,2),
    temp3 Decimal(10,2),
    ur3 Decimal(10,2),
    veloc1 Float,
    veloc2 Float,
    veloc3 Float,
    ppt Int,
Primary Key (codigodados)) ENGINE=NDBCLUSTER;

Create table sensores (
    codigosensor Int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    codigoestacao Int NOT NULL,
    codigofabricante Int NOT NULL,
    nome Varchar(120) NOT NULL,
    numerodeserie Varchar(120),
    descricao Text,
Primary Key (codigosensor)) ENGINE=NDBCLUSTER;

Create table historico (
    codigohistorico Int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    codigocolaborador Int NOT NULL,
    codigosensor Int NOT NULL,
    datainstalacao Date NOT NULL,
    dataremocao Date,
    altura Decimal(10,2) NOT NULL,
    observacoes Text,
Primary Key (codigohistorico)) ENGINE=NDBCLUSTER;

Create table fabricante (
    codigofabricante Int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    nome Varchar(120) NOT NULL,
    site Varchar(120),
    email Varchar(120),
    telefones Varchar(120),
Primary Key (codigofabricante)) ENGINE=NDBCLUSTER;

Create table calibracao (
    codigocalibracao Int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    codigosensor Int NOT NULL,
    codigocolaborador Int NOT NULL,
    datacalibracao Date NOT NULL,
    parametros Text NOT NULL,
    observacoes Text,
Primary Key (codigocalibracao)) ENGINE=NDBCLUSTER;

Create table colaborador (
    codigocolaborador Int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    nome Varchar(120) NOT NULL,
    email Varchar(120),
    telefones Varchar(120),
Primary Key (codigocolaborador)) ENGINE=NDBCLUSTER;

Alter table dados add Foreign Key (codigoestacao) references estacao (codigoestacao) on delete
restrict on update restrict;
Alter table sensores add Foreign Key (codigoestacao) references estacao (codigoestacao) on delete
restrict on update restrict;

```

```
Alter table historico add Foreign Key (codigosensor) references sensores (codigosensor) on delete
restrict on update restrict;
Alter table calibracao add Foreign Key (codigosensor) references sensores (codigosensor) on
delete restrict on update restrict;
Alter table sensores add Foreign Key (codigofabricante) references fabricante (codigofabricante)
on delete restrict on update restrict;
Alter table calibracao add Foreign Key (codigocolaborador) references colaborador
(codigocolaborador) on delete restrict on update restrict;
Alter table historico add Foreign Key (codigocolaborador) references colaborador
(codigocolaborador) on delete restrict on update restrict;
```

```
/* Users permissions */
```

## Anexo B – CLUSTER DE BANCO DE DADOS – MYSQL – COM 3 SERVIDORES

### B.1 CONFIGURAÇÃO DO CLUSTER

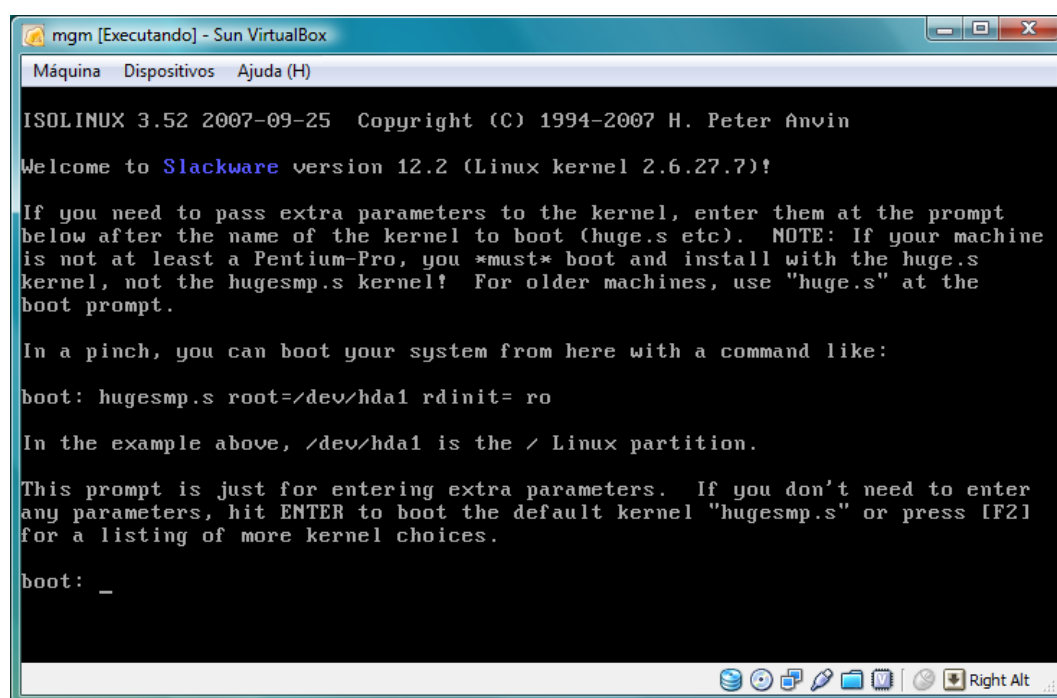
#### B.1.1 Instalação e configuração do Linux Slackware

Durante o processo de instalação do sistema operacional deve-se levar em conta o tipo do processador, esta versão do slackware<sup>5</sup> é de 32 bits, já existe uma versão dele de 64 bits, mas essa não será abordada aqui.

Para uma correta interpretação desse roteiro é importantes estabelecer algumas regras de comunicação, todo comando do teclado será representado entre sinal de maior e menor ( *<enter>* ) e toda entrada de configuração por itálico ( *root* ).

Para este roteiro de instalação do Linux Slackware 12.2 foi utilizado o VirtualBox que é um sistema de maquina virtuais, pela fato de facilitar a capituração das telas de instalação.

A primeiro passo a ser realizado é dar boot pelo DVD<sup>6</sup> de instalação do slackware 12.2 (Figura 1), entre com o *<enter>* para ir à tela do login, por padrão o login é *root* e sem senha (Figura 2).

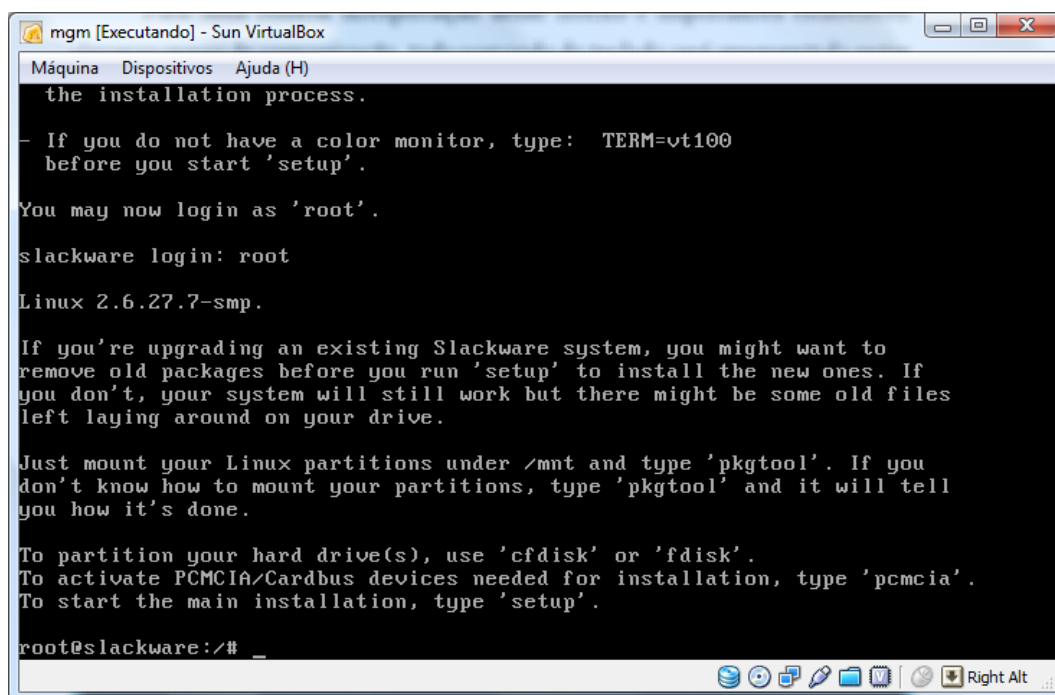


**Figura 1** – Tela inicial de instalação do Linux Slackware 12

<sup>5</sup> <http://www.slackware.com/>

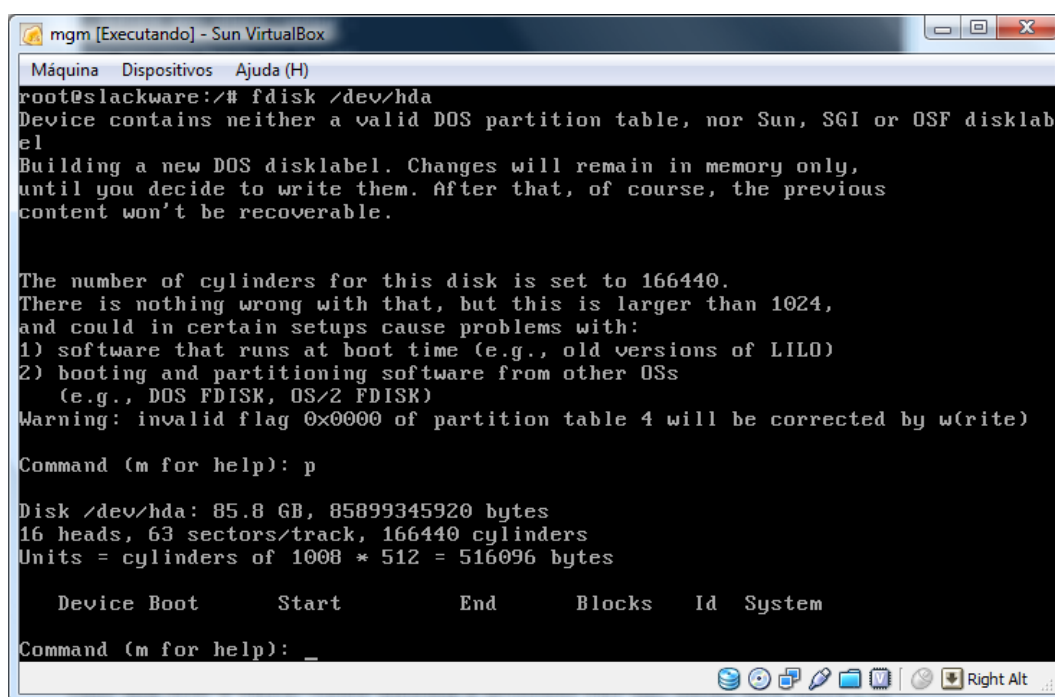
<sup>6</sup> <http://www.slackware.com/getslack/>





**Figura 2** – Tela de login e senha da instalação do Linux Slackware 12.2

Feito o login, o próximo passo é particionar o disco rígido, sendo utilizando o particionador padrão do Slackware (Figura 3), o fdisk, um fator deve ser levado em consideração sobre a referência ao disco, que no caso de HD sata é SDX e no caso dos IDE é HDX. Neste sistema é utilizado HD ide, então será HDA ( A – Primario Master, B- Primário Slave, C-Secundário Master e D – Secundário Slave ), o número que vem depois é a partição do disco (hda1, hda2).



**Figura 3** – Particionador de disco FDISK

Alguns comandos básicos do fdisk são: *n* (criar partição), *d* (apagar partição), *p* (imprimir todas as partições do disco), *t* (alterar o tipo da partição), *w* (salvar e sair), *q* (sair) e *m* (ajuda).

As etapas aqui serão criar uma partição com 2GB para memória SWAP e o restante para partição principal do sistema, conforme Figura 4, sendo necessário alterar a primeira partição para o tipo SWAP utilizando o comando *t* e a opção 82. Agora salve as alterações e saia com o comando *w* (Figura 5).

```

mgm [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina Dispositivos Ajuda (H)
Units = cylinders of 1008 * 512 = 516096 bytes

   Device Boot      Start         End      Blocks   Id  System
Command (m for help): n
Command action
   e   extended
   p   primary partition (1-4)
p
Partition number (1-4): 1
First cylinder (1-166440, default 1): 1
Last cylinder or +size or +sizeM or +sizeK (1-166440, default 166440): +2000M
Command (m for help): n
Command action
   e   extended
   p   primary partition (1-4)
p
Partition number (1-4): 2
First cylinder (3877-166440, default 3877):
Using default value 3877
Last cylinder or +size or +sizeM or +sizeK (3877-166440, default 166440):
Using default value 166440
Command (m for help): _

```

**Figura 4** – Processo de criação das partições no Linux

```

mgm [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina Dispositivos Ajuda (H)
Using default value 3877
Last cylinder or +size or +sizeM or +sizeK (3877-166440, default 166440):
Using default value 166440
Units = cylinders of 1008 * 512 = 516096 bytes

   Device Boot      Start         End      Blocks   Id  System
Command (m for help): t
Partition number (1-4): 1
Hex code (type L to list codes): 82
Changed system type of partition 1 to 82 (Linux swap)
Command (m for help): p

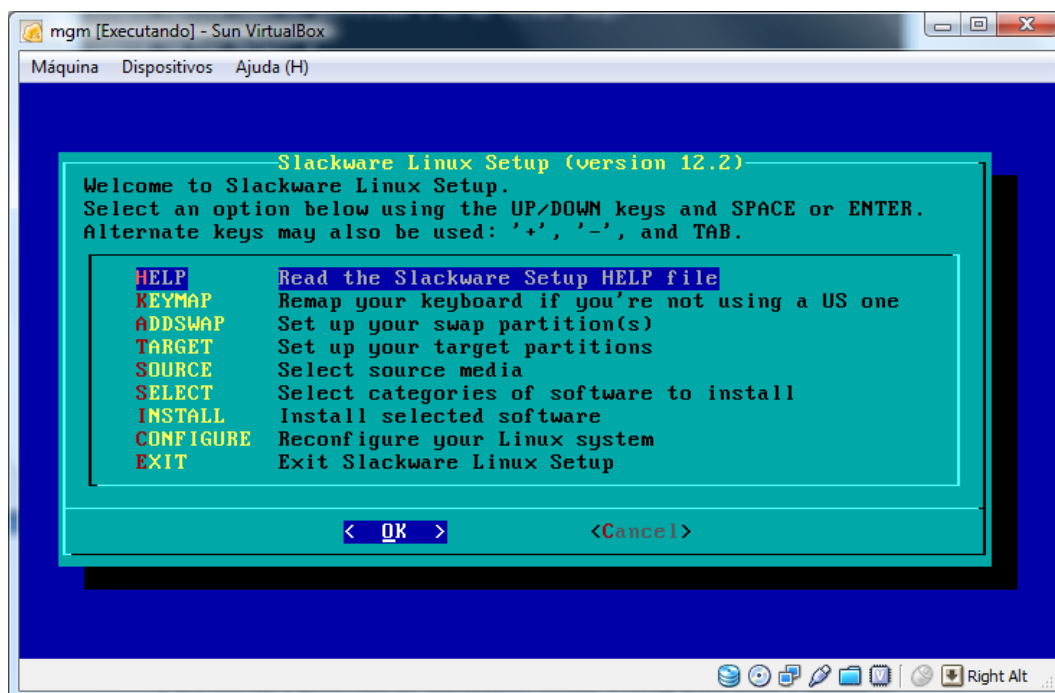
Disk /dev/hda: 85.8 GB, 85899345920 bytes
16 heads, 63 sectors/track, 166440 cylinders
Units = cylinders of 1008 * 512 = 516096 bytes

   Device Boot      Start         End      Blocks   Id  System
/dev/hda1           1           3876    1953472+   82  Linux swap
/dev/hda2          3877        166440    81932256   83   Linux
Command (m for help): w
The partition table has been altered!
Calling ioctl() to re-read partition table.
Syncing disks.
root@slackware:/# _

```

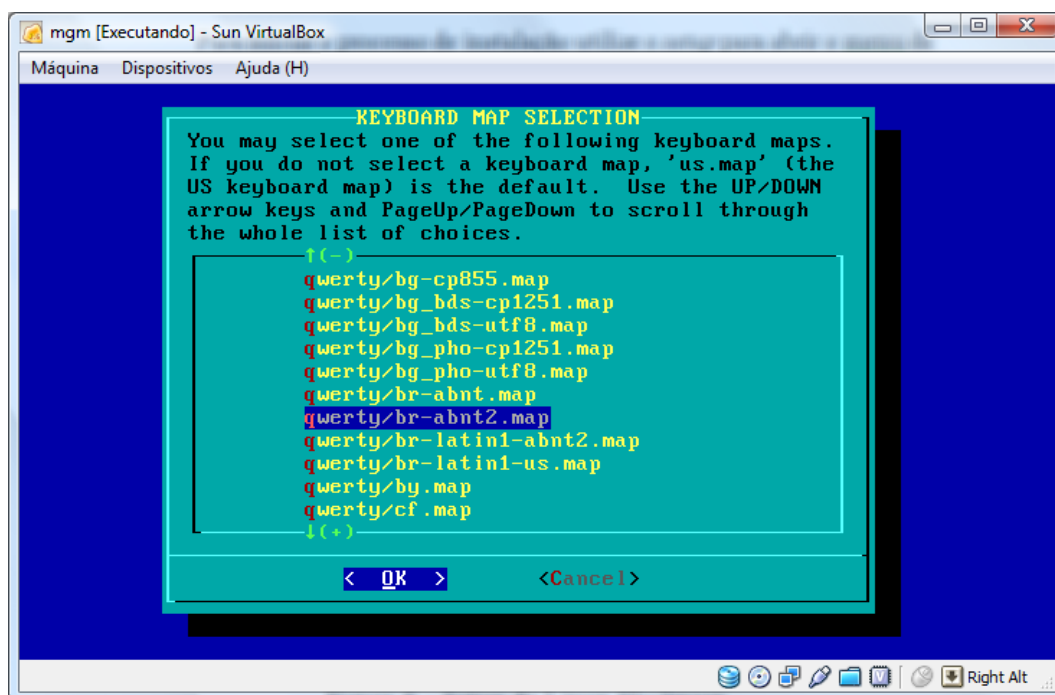
**Figura 5** – Processo de alteração do tipo de partição para Linux Swap

Para iniciar o processo de instalação utilize o *setup* para abrir o menu de instalação e configuração do Slackware (Figura 6).



**Figura 6** – Setup do Linux Slackware

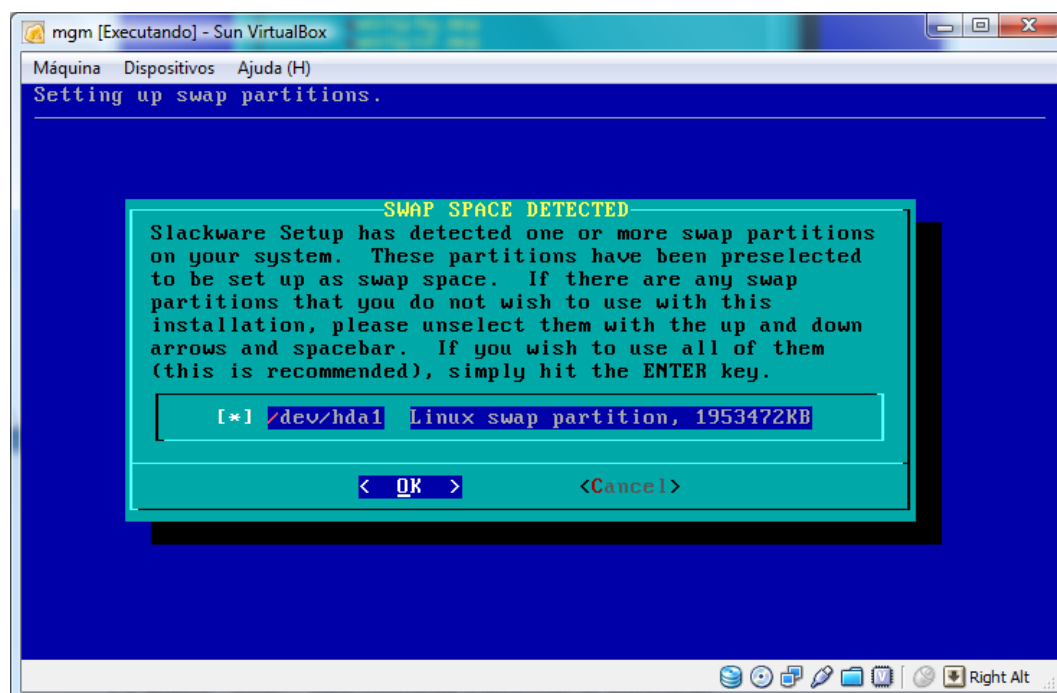
Utilize as setas direcionais (← ↑ → ↓) para navegar entre as opções, selecione a opção KEYMAP (Figura 7) e tecle <enter> para configurar o teclado, valendo lembrar que o teclado Brasileiro que tiver “ç” é chamado de ABNT2.



**Figura 7** – Tecla de configuração do Teclado no Slackware

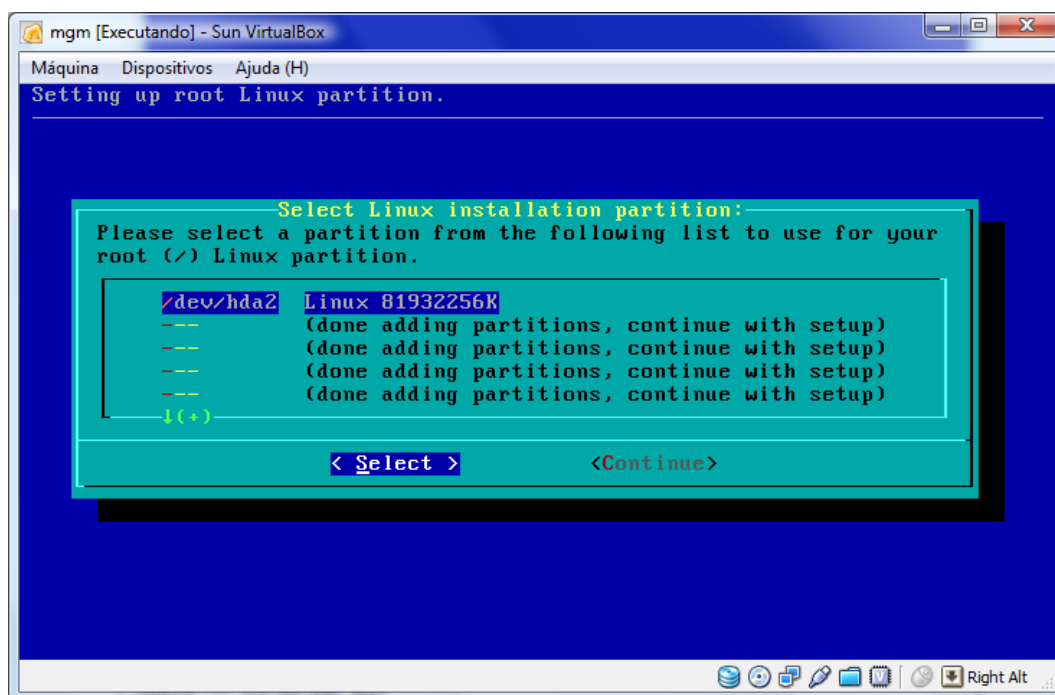
Selecione o teclado em questão e após isso ira a tela de teste, faça os teste de digitação para confirmar a configuração, estando tudo ok, apague tudo e digite *l* e depois *<enter>* para continuar o processo de instalação.

A próxima etapa é de configuração da memória swap (Figura 8) criada durante o particionamento do disco, pressione *<enter>*, a próxima tela será para verificação da integridade do disco, caso não queira é só pressionar *<enter>* porque ele já vem selecionado o não por padrão.



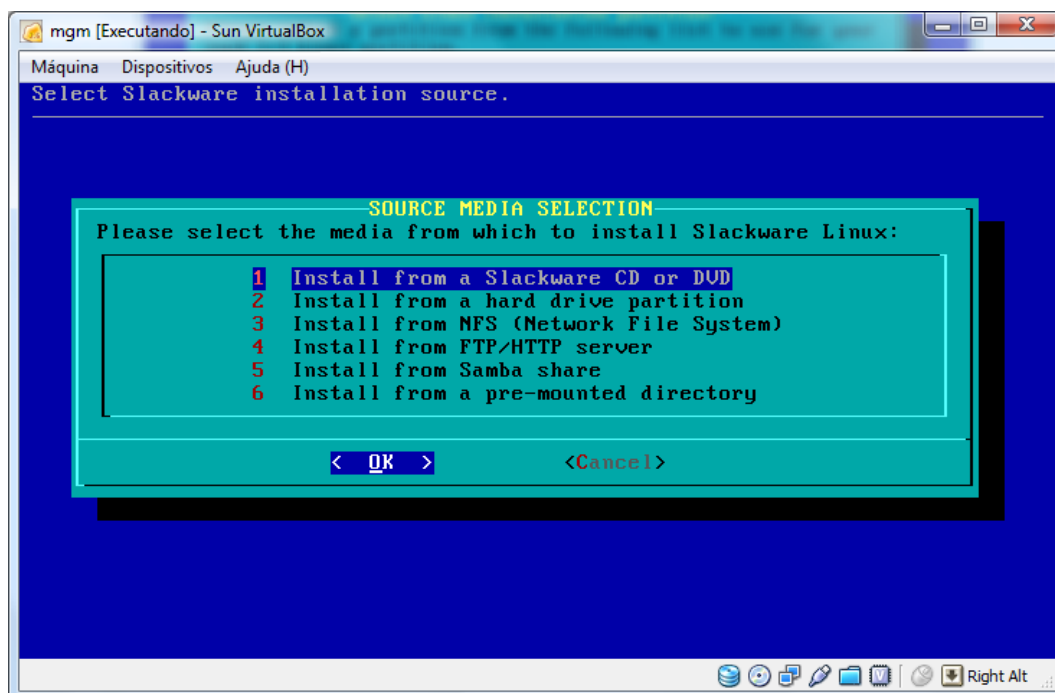
**Figura 8** – Tela de ativação e configuração da memória Swap

Após a ativação da memória Swap o próximo passo é selecionar a partição que será formatada e instalada o Slackware, conforme a Figura 9, caso tenha criado mais de uma partição do Linux elas serão mostradas nessa tela, sendo possível formatar e definir o ponto de montagem para cada uma, como segundo este roteiro ele tem apenas 1 partição Linux ( não confundir com a outra partição Linux Swap ), então ele adotara essa partição com sendo a partição / ( partição raiz). Tecle *<enter>* para selecioná-la e depois seleciona a opção de sistema de arquivo *ext3*, esse processo formatara toda a partição */dev/hda2*, após seu termino será mostrada uma tela de resumo, e pressione *<enter>* para continuar.



**Figura 9** – Seleção das partições para instalação do Linux

O próximo passo é a seleção da localização das fontes de instalação do Slackware no disco (Figura 10), para isso selecione o meio que contenham os arquivos de instalação, que neste caso está no DVD, então pressione *<enter>* e depois selecione o modo *auto* para o próprio Linux detectar o dispositivo de DVD.



**Figura 10** – Seleção das partições para instalação do Linux

O próximo passo é selecionar os pacotes que serão instalados (Figura 11), para o caso de servidores eu recomendo a utilização do básico, assim não à

desperdício de memória Ram com ambientes gráficos e nem de Disco rígido. Os pacotes então selecionados serão o A ( Base do sistema ), AP (Aplicativos), D (Compiladores), K (Arquivos Fontes do Kernel), L (Bibliotecas do Sistema), N (Programas de Rede). O processo de seleção é feito utilizando as teclas direcionais para cima (↑) e para baixo (↓) e a tecla <espaço> para marcar ou desmarcar, feito a seleção pressione <enter> , será exibido a tela de forma de instalação, selecione *Full Instalation* e pressione <enter>.

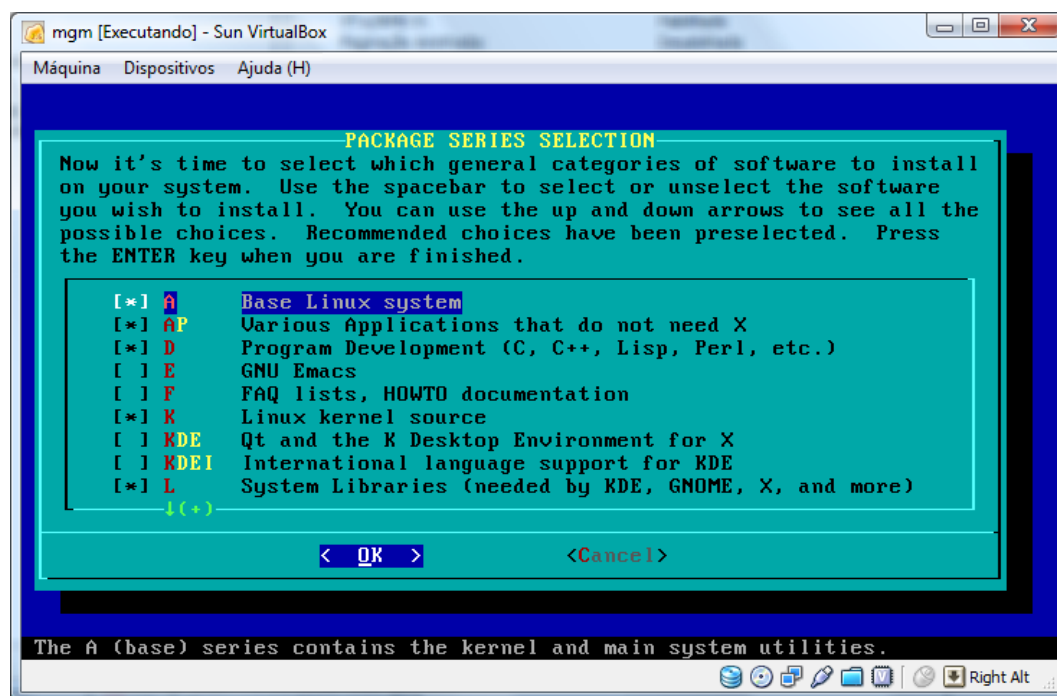
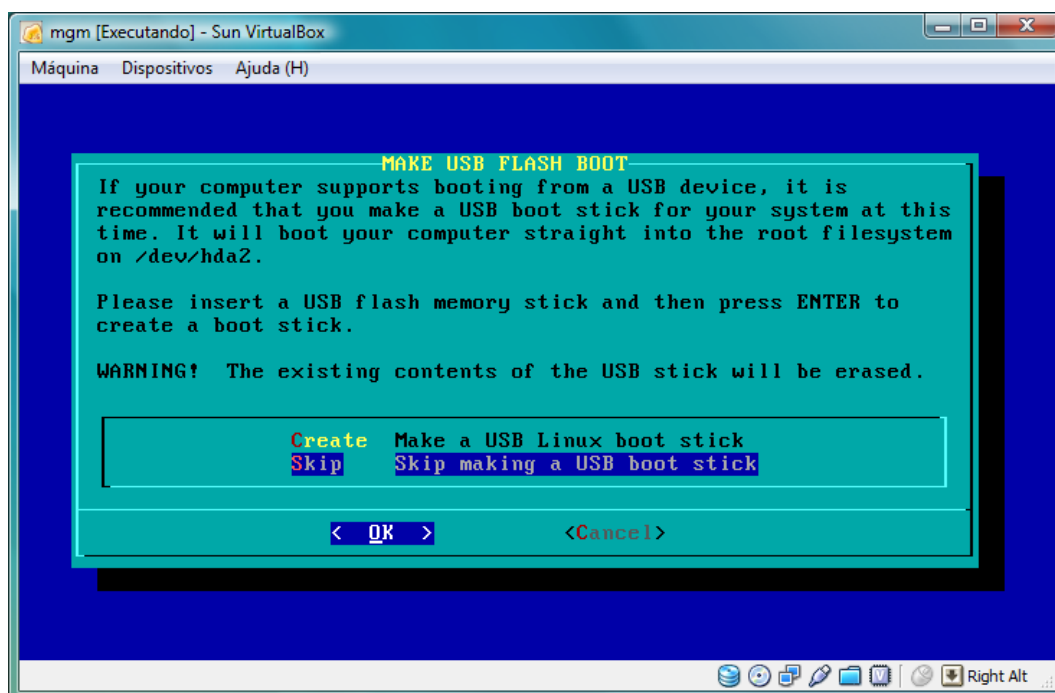
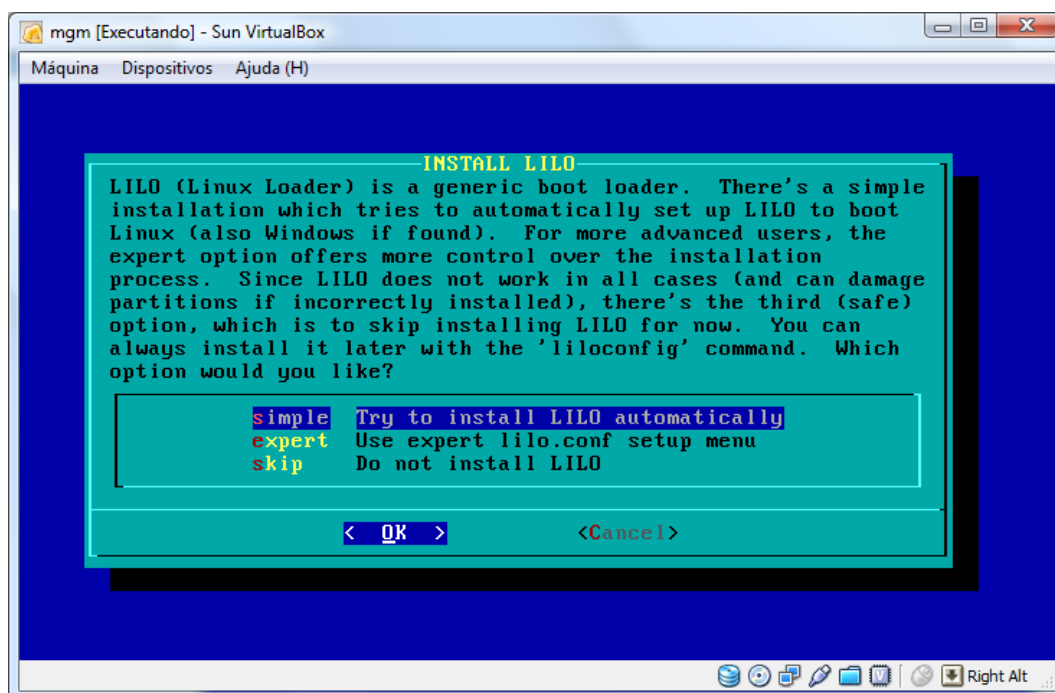


Figura 11 – Tela de seleção dos pacotes de instalação do Slackware

Após toda a instalação, o sistema da opção para criar um disco de inicialização (Figura 12), caso queira utilize as setas para criar o boot, se não utilize a opção skip, as próximas etapas serão para a configuração do sistema, sendo a primeira delas de configuração do programa de inicialização do sistema, que no caso do Slackware 12.2 é o Lilo (Figura 13), selecione a opção *Simple* , logo em seguida será solicitado a resolução que terá o prompt de comando, seleciona a opção desejada e pressione <enter> (prefiro a standard), logo em seguida o sistema perguntara se quer executar alguma opção na hora de carregar o boot pelo lilo, apenas pressione <enter> e após será solicitado a opção de cadeia de caracteres, pressione <enter> novamente, para finalizar a configuração do Lilo, seleciona a opção MBR e pressione <enter>.

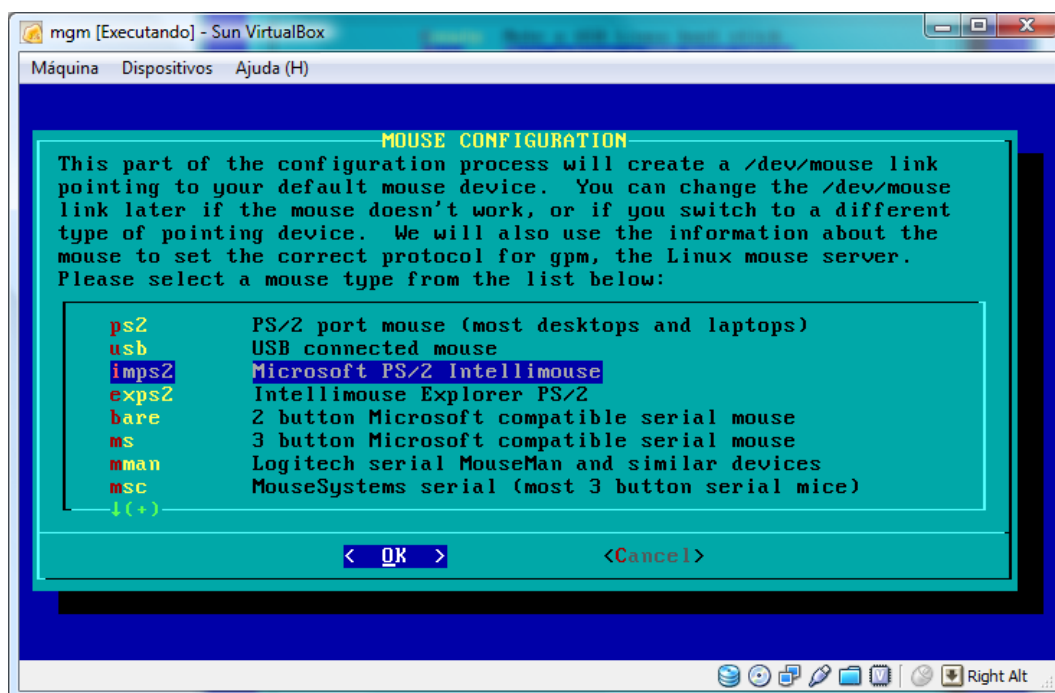


**Figura 12** – Tela de criação do disco de inicialização



**Figura 13** – Tela de criação do disco de inicialização

A próxima etapa é a configuração do mouse, dependendo da forma de conexão com a placa mãe, o mouse pode ser do tipo USB, PS/2 e outros, na dúvida sobre esse recurso, utilize o IMPS2 (Figura 14), a próxima tela é questionando se quer que o mouse seja carregado na hora da inicialização do sistema, escolha *sim* e *<enter>*.



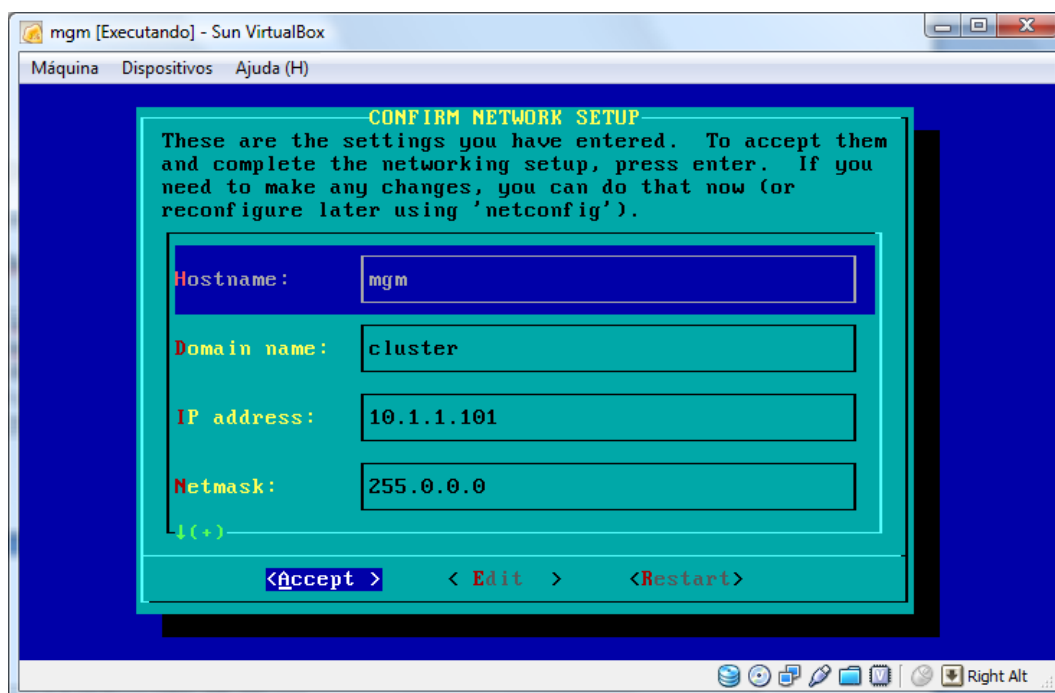
**Figura 14** – Tela de criação do disco de inicialização

A próxima etapa da configuração é referente a configuração da rede, dessa forma ele pergunta se deseja configurar a rede, tecla <enter>. Agora entre com o nome do computador, vale lembrar que, conforme a configuração previamente estabelecida no início desse roteiro, o nome vai variar, assim como o ip, para este roteiro, vou adotar a configuração do “Servidor 1 – Management”, logo entrando com o nome *mgm* <enter>, depois com o domínio *cluster* <enter>.

A próxima tela é a de configuração da forma de atribuição do IP, que neste caso é o IP estático (IP manual), selecione essa opção e <enter>, logo em seguida entre com o IP 10.1.1.101 <enter>, depois máscara 255.0.0.0 <enter>, entre com o gateway 10.1.1.1 <enter>, e com o DNS 10.1.1.1 <enter>.

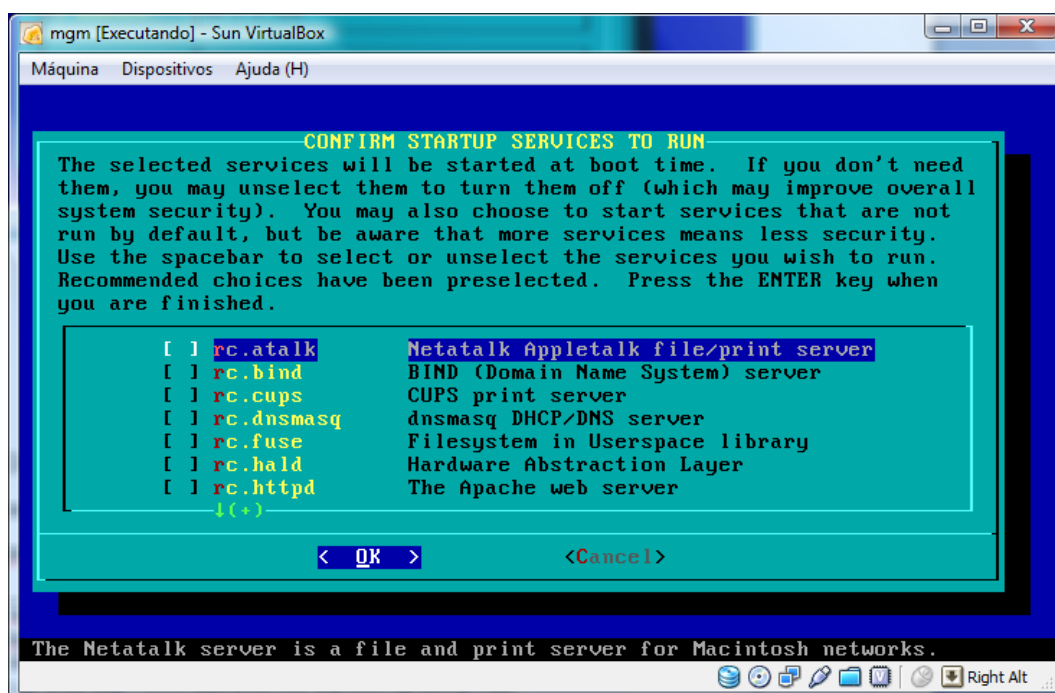
Depois desse passos, aparecerá à tela de confirmação de configuração da rede (Figura 15), estando tudo certo, pressione <enter>.





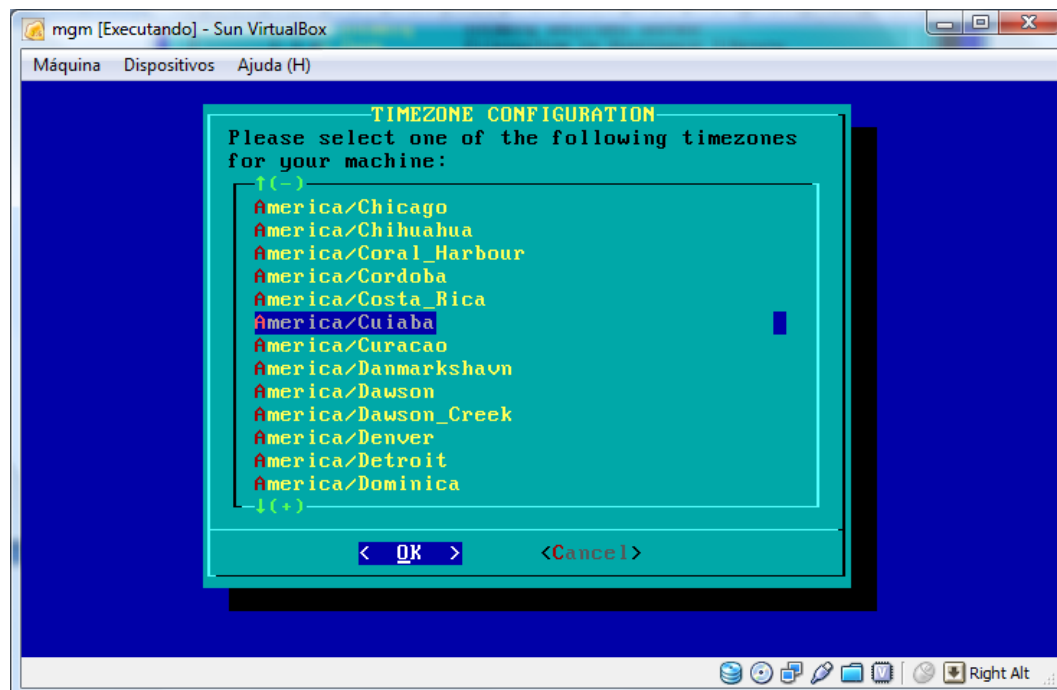
**Figura 15** – Tela de criação do disco de inicialização

Nesta próxima etapa será configurado os programas que irão inicializar junto com o sistema (Figura 16), deixe selecionado somente o *rc.syslog* que é responsável pelo log do sistema, para desmarcar utilize o <espaço> e as teclas para cima (↑) e para baixa (↓) para movimentar a barra de seleção.



**Figura 16** – Tela de criação do disco de inicialização

A próxima etapa é para a seleção da font do console, seleciona a opção *NO* <enter>, em seguida surgira à tela de configuração do horário do sistema, seleciona a opção *NO* <enter>, na configuração do *TIME ZONE* (Figura 17), selecione Cuiabá <enter>.



**Figura 17** – Tela de seleção do TimeZone

A ultima etapa é para entrar com a senha do *root* para o login, caso não queira deixar sem senha, mude para a opção *NO* <enter> ou então apenas pressione <enter> e entra com as senhas.

Feito todas essas etapas aparecerá a tela confirmando que toda a configuração foi feita, agora é só sair do sistema e reiniciar, pressione o <ctrl> + <alt> + <del>.

### B.1.2 Instalação e configuração do Cluster MySql

O primeiro passo em ambos os servidores é baixar o MySQL Cluster 7.0<sup>7</sup> do site da MySQLAB, e descompacta-lo em um diretório específico, neste roteiro será adotado o diretório do super-usuário como padrão.

```
cd /root
wget http://dev.mysql.com/get/Downloads/MySQL-Cluster-7.0/mysql-cluster-gpl-7.0.5-linux-
i686-glibc23.tar.gz/from/ftp://ftp.pucpr.br/mysql/
tar -zxvf mysql-cluster-gpl-7.0.5-linux-i686-glibc23.tar.gz
```

<sup>7</sup> [http://dev.mysql.com/downloads/cluster/7.0.html#Linux\\_\(non\\_RPM\\_packages\)](http://dev.mysql.com/downloads/cluster/7.0.html#Linux_(non_RPM_packages))

O próximo passo é remover o pacote MySQL que vem por padrão e fazer a instalação com suas respectivas referencias no path de execução

```
# Removendo o Mysql do sistema
removepkg mysql

mv mysql-cluster-gpl-7.0.5-linux-i686-glibc23 /usr/local/mysql

cd /usr/local/mysql

# Criando a Base de dados e configurando as permissões
scripts/mysql_install_db
chown -R root .
chown -R mysql data
chgrp -R mysql .

#Copiando o arquivo padrão de configuração
cp support-files/my-medium.cnf data/my.cnf
cp support-files/mysql.server /etc/rc.d/rc.mysql
chmod +x /etc/rc.d/rc.mysql

#Configurando os links simbólicos
ln -s /usr/local/mysql/bin/mysql /usr/bin/mysql
ln -s /usr/local/mysql/bin/mysql_config /usr/bin/mysql_config
ln -s /usr/local/mysql/bin/mysqldump /usr/bin/mysqldump
ln -s /usr/local/mysql/bin/replace /usr/bin/replace
ln -s /usr/local/mysql/bin/ndb_mgm /usr/bin/ndb_mgm
ln -s /usr/local/mysql/bin/ndb_mgmd /usr/bin/ndb_mgmd
ln -s /usr/local/mysql/bin/ndbd /usr/bin/ndbd
```

### B. 1.2.1 Configuração do Servidor 1 - Management

Após a instalação do MySQL e configurado suas referencias simbólicas a próxima etapa é a criação do arquivo de configuração do cluster, a localização do arquivo é: /var/lib/mysql-cluster/config.ini:

```
#Criando o diretório base do arquivo de configuração
mkdir /var/lib/mysql-cluster
cd /var/lib/mysql-cluster

#Joe é um editor de texto, pode ser usado qualquer um
joe config.ini
```

Dentro do editor de texto, entre com as configurações abaixo, suas descrições estão no próprio arquivo de configuração.

```
[NDBD DEFAULT]
NoOfReplicas=2
[MYSQLD DEFAULT]
[NDB_MGMD DEFAULT]
[TCP DEFAULT]
# Sessão de configuração do Cluster Gerenciador
[NDB_MGMD]
# IP do no gerenciador
```

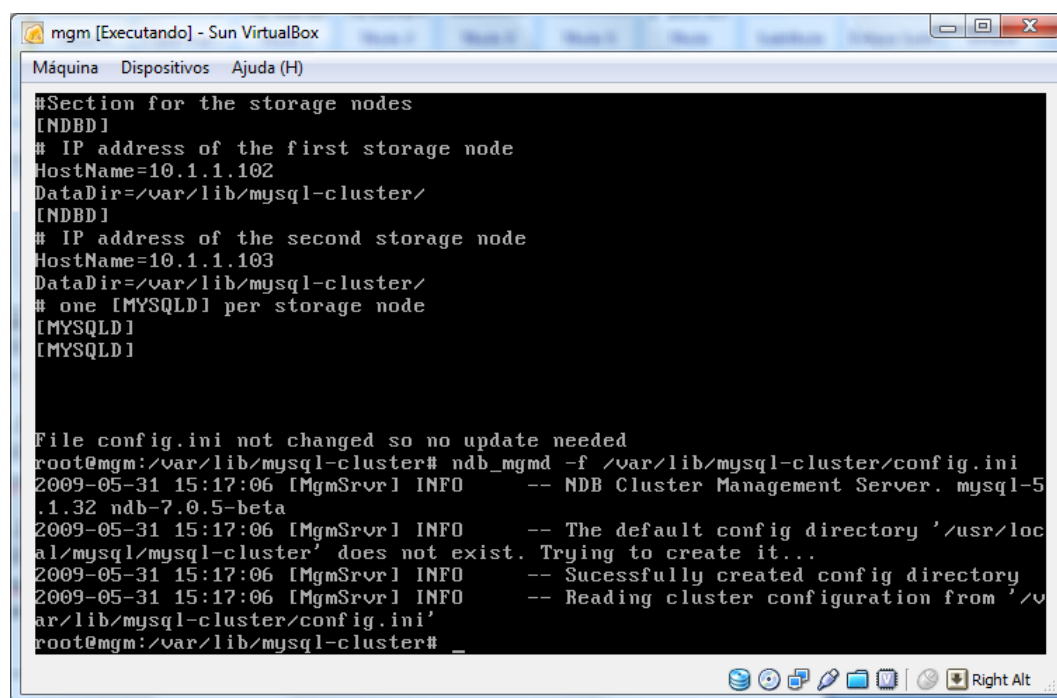
```

HostName=10.1.1.101
# Sessão para os nos storage
[NDBD]
# Primeiro endereço IP
HostName=10.1.1.102
DataDir= /var/lib/mysql-cluster
[NDBD]
# Segundo endereço IP
HostName=10.1.1.103
DataDir=/var/lib/mysql-cluster
# Um [MYSQLD] por cada no de armazenamento, como são 2, então vão dois
[MYSQLD]
[MYSQLD]

```

Após terminado o processo de edição do arquivo, inicie o serviço de gerenciamento do MySQL-Cluster (Figura 18).

```
ndb_mgmd -f /var/lib/mysql-cluster/config.ini
```



```

mgm [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina Dispositivos Ajuda (H)

#Section for the storage nodes
[NDBD]
# IP address of the first storage node
HostName=10.1.1.102
DataDir=/var/lib/mysql-cluster/
[NDBD]
# IP address of the second storage node
HostName=10.1.1.103
DataDir=/var/lib/mysql-cluster/
# one [MYSQLD] per storage node
[MYSQLD]
[MYSQLD]

File config.ini not changed so no update needed
root@mgm:/var/lib/mysql-cluster# ndb_mgmd -f /var/lib/mysql-cluster/config.ini
2009-05-31 15:17:06 [MgmSrvr1] INFO      -- NDB Cluster Management Server. mysql-5
.1.32 ndb-7.0.5-beta
2009-05-31 15:17:06 [MgmSrvr1] INFO      -- The default config directory '/usr/loc
al/mysql/mysql-cluster' does not exist. Trying to create it...
2009-05-31 15:17:06 [MgmSrvr1] INFO      -- Successfully created config directory
2009-05-31 15:17:06 [MgmSrvr1] INFO      -- Reading cluster configuration from '/v
ar/lib/mysql-cluster/config.ini'
root@mgm:/var/lib/mysql-cluster# _

```

**Figura 18** – Configuração e inicialização do MySQL Cluster no Servidor 1

Caso queira que o serviço inicie automaticamente, basta inserir essa linha no final do arquivo /etc/rc.d/rc.local.

### B. 1.2.2 Configuração do Servidor 2 – nod1 e Servidor 3 – nod2

Passo para a configuração dos dois nós, inicia apagando o /usr/local/mysql/data/my.cnf

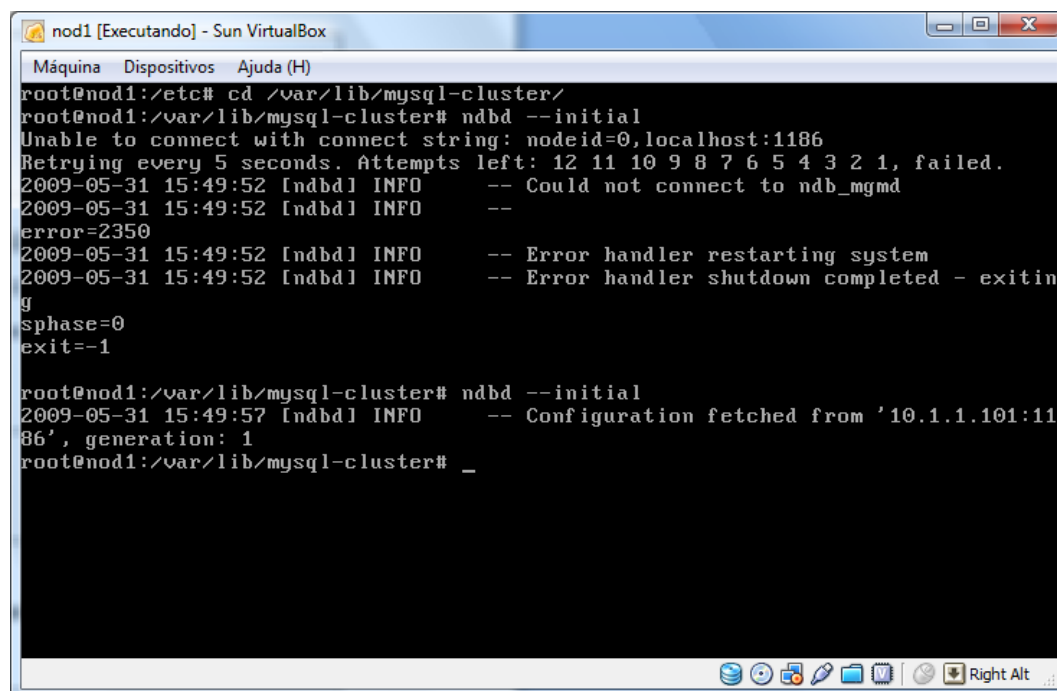
```
rm /usr/local/mysql/data/my.cnf
```

Edite o arquivo em /etc /my.cnf (joe /etc/my.cnf) entrando com as opções abaixo:

```
[mysqld]
ndbcluster
# IP do no gerenciador
ndb-connectstring=10.1.1.101
[mysql_cluster]
# IP do no gerenciador
ndb-connectstring=10.1.1.101
```

O próximo passo é preparar a estrutura de diretórios e iniciar o serviço (Figura 19).

```
mkdir /var/lib/mysql-cluster
cd /var/lib/mysql-cluster
ndbd --initial
/etc/rc.d/rc.mysql start
```



```
nod1 [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina Dispositivos Ajuda (H)
root@nod1:/etc# cd /var/lib/mysql-cluster/
root@nod1:/var/lib/mysql-cluster# ndbd --initial
Unable to connect with connect string: nodeid=0,localhost:1186
Retrying every 5 seconds. Attempts left: 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1, failed.
2009-05-31 15:49:52 [ndbd] INFO -- Could not connect to ndb_mgmd
2009-05-31 15:49:52 [ndbd] INFO --
error=2350
2009-05-31 15:49:52 [ndbd] INFO -- Error handler restarting system
2009-05-31 15:49:52 [ndbd] INFO -- Error handler shutdown completed - exiting
sphase=0
exit=-1

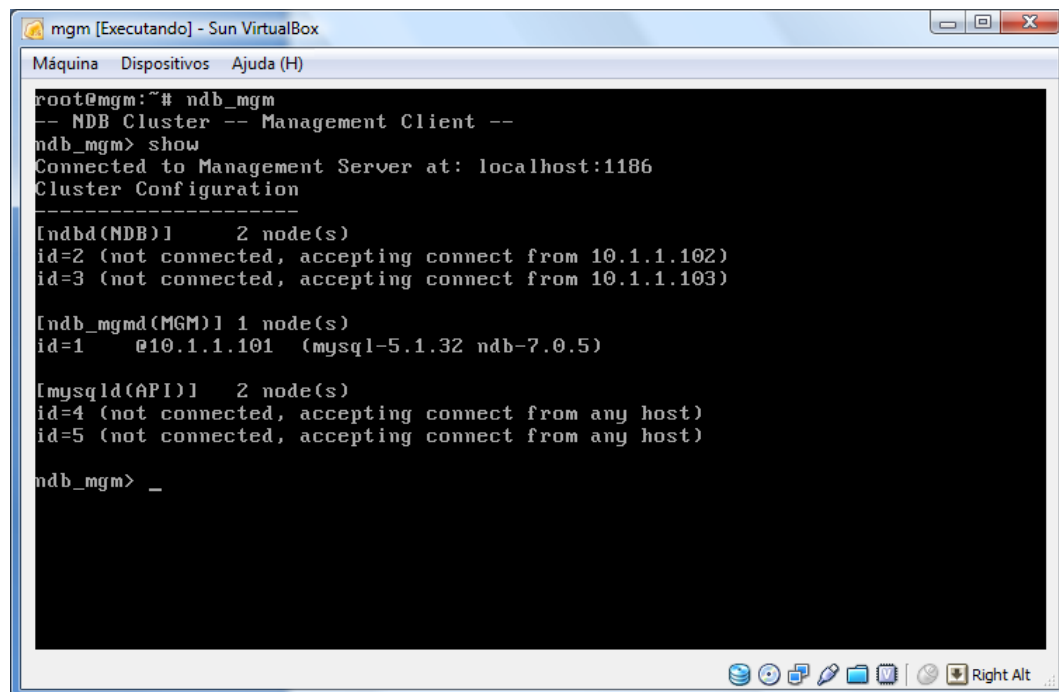
root@nod1:/var/lib/mysql-cluster# ndbd --initial
2009-05-31 15:49:57 [ndbd] INFO -- Configuration fetched from '10.1.1.101:1186', generation: 1
root@nod1:/var/lib/mysql-cluster# _
```

**Figura 19** – Tela de inicialização do nbdb que na primeira execução deu erro devido do arquivo my.cnf estar mal configurado e no segunda iniciando o serviço após ter sido feita a configuração corretamente.

### B. 1.2.3 Verificando as conexões com o Gerenciador

Para acompanhar e verificar se todos os nos estão conectado e qual o status dele, utilize o gerenciador do cluster *ndb\_mgm* (Figuras 20 a 22) utilizando o comando *show*.

```
ndb_mgm
```



```

mgm [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)

root@mgm:~# ndb_mgm
-- NDB Cluster -- Management Client --
ndb_mgm> show
Connected to Management Server at: localhost:1186
Cluster Configuration
-----
[ndbd(NDB)] 2 node(s)
id=2 (not connected, accepting connect from 10.1.1.102)
id=3 (not connected, accepting connect from 10.1.1.103)

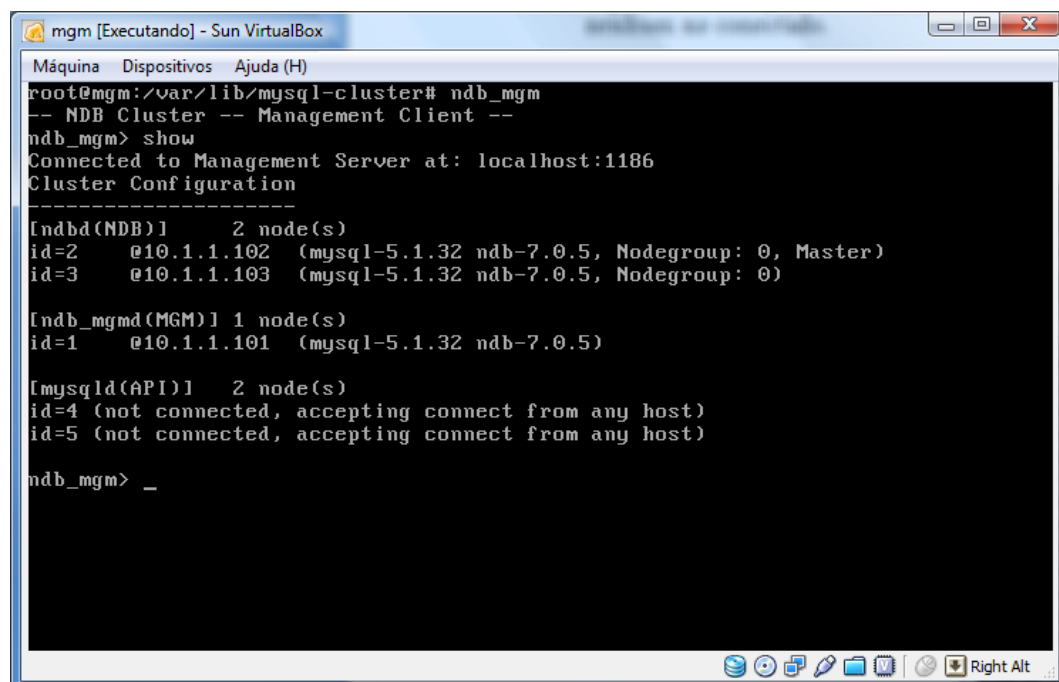
[ndb_mgmd(MGM)] 1 node(s)
id=1 @10.1.1.101 (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5)

[mysqld(API)] 2 node(s)
id=4 (not connected, accepting connect from any host)
id=5 (not connected, accepting connect from any host)

ndb_mgm> _

```

**Figura 20** – Programa de monitoriamento do cluster é iniciado e não existe nenhum no conectado.



```

mgm [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)

root@mgm:/var/lib/mysql-cluster# ndb_mgm
-- NDB Cluster -- Management Client --
ndb_mgm> show
Connected to Management Server at: localhost:1186
Cluster Configuration
-----
[ndbd(NDB)] 2 node(s)
id=2 @10.1.1.102 (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5, Nodegroup: 0, Master)
id=3 @10.1.1.103 (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5, Nodegroup: 0)

[ndb_mgmd(MGM)] 1 node(s)
id=1 @10.1.1.101 (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5)

[mysqld(API)] 2 node(s)
id=4 (not connected, accepting connect from any host)
id=5 (not connected, accepting connect from any host)

ndb_mgm> _

```

**Figura 21** – Quando o Servidor\_2 e Servidor\_3 realiza a conexão ao Servidor\_1 pelo ndbd.

```

mgm [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)
root@mgm:/var/lib/mysql-cluster# ndb_mgm
-- NDB Cluster -- Management Client --
ndb_mgm> show
Connected to Management Server at: localhost:1186
Cluster Configuration
-----
[ndbd(NDB)] 2 node(s)
id=2  @10.1.1.102  (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5, Nodegroup: 0, Master)
id=3  @10.1.1.103  (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5, Nodegroup: 0)

[ndb_mgmd(MGM)] 1 node(s)
id=1  @10.1.1.101  (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5)

[mysqld(API)] 2 node(s)
id=4  @10.1.1.102  (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5)
id=5  @10.1.1.103  (mysql-5.1.32 ndb-7.0.5)

ndb_mgm> _

```

**Figura 22** – Quando o Servidor\_2 e Servidor\_3 realiza a conexão ao Servidor\_1 pelo MySQL.

## B. 2. TESTE NO CLUSTER E IMPORTAÇÃO DA BASE DA DADOS

Após ter verificado todo o funcionamento e certificar-se que os cluster estejam ativos, o próximo passo é fazer um pequeno teste criando uma base de dados com o comando *create database pgfa* (Figuras 23 e 24).

```

nod1 [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)
root@nod1:/var/lib/mysql-cluster# mysql -u root -p
Enter password:
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 2
Server version: 5.1.32-ndb-7.0.5-cluster-gpl MySQL Cluster Server (GPL)

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the buffer.

mysql> create database pgfa;
Query OK, 1 row affected (0.25 sec)

mysql> show databases;
+-----+
| Database |
+-----+
| information_schema |
| mysql |
| pgfa |
| test |
+-----+
4 rows in set (0.00 sec)

mysql> _

```

**Figura 23** – Criação de uma base de dados no Servidor\_2 para teste

```

nod2 [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)
root@nod2:/var/lib/mysql-cluster# mysql -u root -p
Enter password:
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 2
Server version: 5.1.32-ndb-7.0.5-cluster-gpl MySQL Cluster Server (GPL)

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the buffer.

mysql> show databases;
+-----+
| Database |
+-----+
| information_schema |
| mysql      |
| pgfa       |
| test       |
+-----+
4 rows in set (0.00 sec)

mysql> _

```

**Figura 24** – Verificação se a base de dados foi replicada ao servidor\_3.

O próximo passo é importar a base de dados (Figuras 25 e 26), existem diversas formas de se fazer isso, o que este roteiro utilizara é o comando *mysql*<sup>8</sup>, pois é um comando que já vem nativo no próprio MySQL.

```

nod1 [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)
root@nod1:/var/lib/mysql-cluster# mysql -u root -p pgfa < script.sql
Enter password:
root@nod1:/var/lib/mysql-cluster# mysql -u root -p
Enter password:
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 4
Server version: 5.1.32-ndb-7.0.5-cluster-gpl MySQL Cluster Server (GPL)

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the buffer.

mysql> use pgfa
Reading table information for completion of table and column names
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A

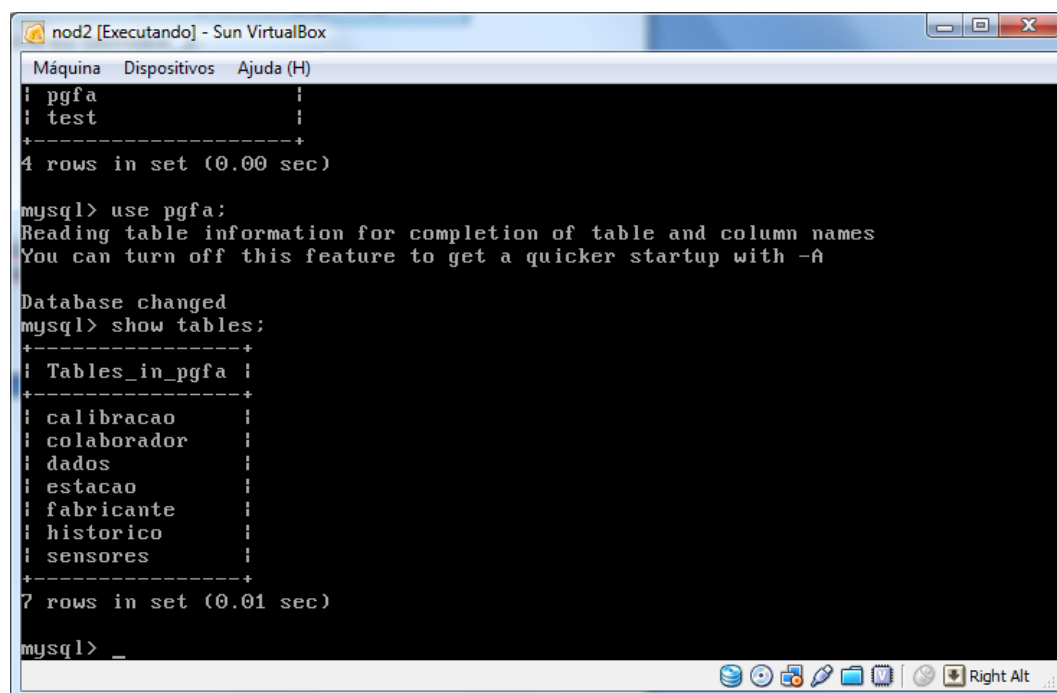
Database changed
mysql> show tables;_

```

**Figura 25** – Importando a Base de Dados no Servidor\_2.

<sup>8</sup> Sintaxe: *mysql -u <usuário> -p <base-de-dados-criada> < <script-a-ser-importado>*.  
O *-p* é para pedir a senha quando executar o *mysql*.





```
nod2 [Executando] - Sun VirtualBox
Máquina  Dispositivos  Ajuda (H)
| pgfa    |
| test    |
+-----+
4 rows in set (0.00 sec)

mysql> use pgfa;
Reading table information for completion of table and column names
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A

Database changed
mysql> show tables;
+-----+
| Tables_in_pgfa |
+-----+
| calibracao      |
| colaborador     |
| dados           |
| estacao         |
| fabricante      |
| historico       |
| sensores        |
+-----+
7 rows in set (0.01 sec)

mysql> _
```

**Figura 26** – Confirmação da replicação do Servidor\_2 para o Servidor\_3.

## ANEXO C - CÓDIGO DA MODELAGEM NO VENSIM

### C. 1 – CÓDIGO FONTE DO ARQUIVO RITCHI.MDL

```
{UTF-8}
Saida Nivel 2=
    IF THEN ELSE(Precipitacao>(9999-Fase 2), 0 , Evaporação Fase2 + IF THEN ELSE(Evaporação Fase2\
        >0,Transpiração, 0 ) )
    ~
    ~
    |

Saida Nivel 1=
    IF THEN ELSE( ( Evaporação Fase1+(IF THEN ELSE(Evaporação Fase1>0, IF THEN ELSE(\
        Evaporação Fase2>0, 0 , Transpiração
    ), 0 ) ) >Fase 1 ) , Fase 1, Evaporação Fase1+(IF THEN ELSE(Evaporação Fase1>0, \
        IF THEN ELSE(Evaporação Fase2>0,
    0 , Transpiração ), 0 ) ) )
    ~
    ~
    |

Evapotranspiração Ritchie=
    Evaporação Fase1+Evaporação Fase2+Transpiração
    ~
    ~
    |

Transpiração=
    IF THEN ELSE( IAF >= 0.1 , IF THEN ELSE( IAF > 3, ETmax - ( Evaporação Fase1 + Evaporação Fase2\
        ), IF THEN ELSE( (
    ETmax*(1-EXP(-IAF))) > ( ETmax - ( Evaporação Fase1 + Evaporação Fase2 ) ) , ETmax\
        - ( Evaporação Fase1 + Evaporação Fase2
    ), ETmax*(1-EXP(-IAF)) ) ) , 0 )
    ~
    ~
    |

EvapotranspiracaoBowen
    ~
    ~
    |

Tempo= INTEG (
    Tempo de Transição,
    0)
    ~
    ~
    IF THEN ELSE(Tempo de Transição>0, Tempo de Transição-Tempo , IF THEN \
        ELSE( Evaporação Fase2>0, ((9999-Fase 2)+Evaporação \
        Fase2-Precipitação) , 0 ) )
    |

Entrada Nivel 2=
    IF THEN ELSE(Precipitacao>0, IF THEN ELSE(Precipitacao>(9999-Fase 2), (9999-Fase 2),\
        Precipitacao) , 0)
    ~
    ~
    |

aux=
    IF THEN ELSE( IAF<1, ETmax*(1-0.43*IAF) , (ETmax/1.1)*EXP(-0.4*IAF) )
    ~
    ~
    |

Evaporação Fase1=
    IF THEN ELSE( (U - Fase 1)<U, IF THEN ELSE( (IF THEN ELSE( Precipitacao>(U-Fase 1) ,\
        aux , (U-Fase 1)+aux )>U ) , aux-0.4*(((U-Fase 1)+aux )-U) , aux) , 0)
    ~
    ~
    IF THEN ELSE( ((U - Fase 1)+aux)>U , aux - 0.4 * ( ((U - Fase 1)+aux) - U)
    |

Evaporação Fase2=
    IF THEN ELSE( (U - Fase 1)<U, 0 , IF THEN ELSE( Precipitacao > 0, IF THEN ELSE( IF THEN ELSE\
        ( (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) <= ( 0.8* Precipitacao), (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5)))+( Precipitacao\
        ,(Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) )>ETmax , ETmax , IF THEN ELSE( (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))\
        ) <= ( 0.8* Precipitacao), (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5)))+( Precipitacao,(Alfa*((Tempo+1)\
        ^(-0.5))) ) ) , IF THEN ELSE( (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) > ETmax, ETmax , (Alfa*((Tempo\
        +1)^(-0.5))) ) ) )
    ~
    ~
    e2 = Alfa * ( Tempo +1 )
    E2x = 0.8* Precipitação

    IF THEN ELSE( (U - Fase 1)<U, 0 , IF THEN ELSE( Precipitação > 0, IF THEN ELSE( \
```

```

(0.8* Precipitação)>ETmax , ETmax , IF THEN ELSE( ( Alfa * ( Tempo +1 ) \
) <= ( 0.8* Precipitação), ( Alfa * ( Tempo +1 ) )+ Precipitação , \
Alfa * ( Tempo +1 ) ) , IF THEN ELSE( (Alfa * ( Tempo +1 ) ) > ETmax, \
ETmax , Alfa * ( Tempo +1 ) ) )

IF THEN ELSE( (U - Fase 1)<U, 0 , IF THEN ELSE( Precipitação > 0, IF \
THEN ELSE( (0.8* Precipitação)>ETmax , ETmax , IF THEN ELSE( \
(Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) <= ( 0.8* Precipitação), \
(Alfa*((Tempo+1)^(-0.5)))+( Precipitação , (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) ) \
) , IF THEN ELSE( (Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) > ETmax, ETmax , \
(Alfa*((Tempo+1)^(-0.5))) ) ) )

|

Entrada Nivel 1=
IF THEN ELSE(Precipitacao>0, IF THEN ELSE(Precipitacao>(9999-Fase 2), Precipitacao-(\
9999-Fase 2) , 0 ) , 0)

~

~ IF THEN ELSE(Precipitação>0, IF THEN ELSE(Precipitação>(9999-Fase 2), IF THEN \
ELSE( (Precipitação-(9999-Fase 2))<(U-Fase 1) , \
Precipitação-(9999-Fase 2) , (U-Fase 1) ) , 0 ) , 0)

IF THEN ELSE(Precipitação>0, IF THEN ELSE(Precipitação>(9999-Fase 2), \
Precipitação-(9999-Fase 2) , 0 ) , 0)

|

Tempo de Transição=
IF THEN ELSE( Evaporação Fase1>0, IF THEN ELSE( (IF THEN ELSE( Precipitacao>(U-Fase 1\
) , aux , (U-Fase 1)+aux )>U ) , ((0.6*(((U-Fase 1)+aux)-U))/Alfa)^2 , -Tempo) , IF THEN ELSE\
(Precipitacao>(9999-Fase 2), 0 , ( ( (9999-Fase 2)+Evaporação Fase2-Precipitacao\
)/Alfa)^2 ) )

~

~ Alfa*(0.6*(((U-Fase 1)+aux )-U)
(9999-Fase 2)+Evaporação Fase2-Precipitação )

IF THEN ELSE( Evaporação Fase1>0, IF THEN ELSE( (IF THEN ELSE( \
Precipitação>(U-Fase 1) , aux , (U-Fase 1)+aux )>U ) , ((0.6*(((U-Fase \
1)+aux)-U))/Alfa)^2 , -Tempo) , IF THEN ELSE(Precipitação>(9999-Fase 2), \
0 , ( ( (9999-Fase 2)+Evaporação Fase2-Precipitação)/Alfa)^2 ) )

IF THEN ELSE( Evaporação Fase1>0, IF THEN ELSE( (IF THEN ELSE( \
Precipitação>(U-Fase 1) , aux , (U-Fase 1)+aux )>U ) , ((0.6*(((U-Fase \
1)+aux)-U))/Alfa)^2 , -Tempo) , 0 )

|

Fase 2= INTEG (
Entrada Nivel 2-Saida Nivel 2,
9999)

~

~ |

Ar= INTEG (
Saida Nivel 1+Saida Nivel 2,
0)

~

~ |

Precipitacao

~

~ |

Fase 1= INTEG (
Entrada Nivel 1-Saida Nivel 1,
U)

~

~ |

U=
GET XLS CONSTANTS( 'constantes.xls','constantes', 'B4' )

~

~ |

Alfa=
GET XLS CONSTANTS( 'constantes.xls','constantes', 'B5' )

~

~ |

Alfa da Cultura=
GET XLS CONSTANTS( 'constantes.xls','constantes', 'B2' )

~

~ |

```

```

Alfa do Solo=
  GET XLS CONSTANTS( 'constantes.xls','constantes', 'B3' )
  ~
  ~

ETmax=
  (RadiacaoSolar*(0.00488-(0.00437*(Alfa da Cultura-(Alfa da Cultura-Alfa do Solo)*EXP\
    (-0.75*IAF))))*((0.6*TemperaturaMaxima)+(0.4*TemperaturaMinima)+29))*IF THEN ELSE((
    ( 5 < TemperaturaMaxima ) :AND: ( TemperaturaMaxima <= 35) ), 1.1 , ( IF THEN ELSE\
    ( TemperaturaMaxima>35, 1.1 + 0.05*(TemperaturaMaxima-35) ,
0.01*EXP(0.18*(TemperaturaMaxima\
  +20)) ) ) )
  ~
  ~

IAF
  ~
  ~

RadiacaoSolar
  ~
  ~

TemperaturaMaxima
  ~
  ~

TemperaturaMinima
  ~
  ~

*****
.Control
*****~
Simulation Control Parameters

|

FINAL TIME = 365
  ~ Day
  ~ The final time for the simulation.
  |

INITIAL TIME = 26
  ~ Day
  ~ The initial time for the simulation.
  |

SAVEPER =
TIME STEP
  ~ Day [0,?]
  ~ The frequency with which output is stored.
  |

TIME STEP = 1
  ~ Day [0,?]
  ~ The time step for the simulation.
  |

\\---// Sketch information - do not modify anything except names
V300 Do not put anything below this section - it will be ignored
*View 1
$192-192-192,0,Times New Roman|12||0-0-0|0-0-0|0-0-255|-1--1--1|-1--1|96,96,110,0
10,1,Fase 1,215,500,40,20,3,3,0,0,0,0,0
10,2,Fase 2,211,607,40,20,3,3,0,0,0,0,0
12,3,48,-98,501,10,8,0,3,0,0,-1,0,0
1,4,6,1,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,1|(111,502)|
1,5,6,3,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,1|(-26,502)|
11,6,48,41,502,6,8,34,3,0,0,1,0,0
10,7,Entrada Nivel 1,41,521,50,11,40,3,0,0,-1,0,0
12,8,48,-103,610,10,8,0,3,0,0,-1,0,0
1,9,11,2,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,1|(110,605)|
1,10,11,8,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,1|(-28,605)|
11,11,48,43,605,6,8,34,3,0,0,1,0,0
10,12,Entrada Nivel 2,43,624,50,11,40,3,0,0,-1,0,0
10,13,Evaporação Fase1,194,299,54,54,2,131,0,0,0,0,0
10,14,Evaporação Fase2,609,298,54,54,2,131,0,0,0,0,0
10,15,Ar,495,514,40,20,3,3,0,0,0,0,0
1,16,18,15,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,1|(495,609)|
1,17,18,2,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,1|(302,609)|

```

11,18,476,360,609,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,19,Saida Nivel 2,360,628,43,11,40,3,0,0,-1,0,0,0  
 1,20,22,15,4,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(412,507)|  
 1,21,22,1,100,0,0,22,0,0,0,-1--1--1,,1|(306,507)|  
 11,22,140,363,507,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0  
 10,23,Saida Nivel 1,363,526,43,11,40,3,0,0,-1,0,0,0  
 10,24,ETmax,339,152,36,36,2,131,0,0,0,0,0,0  
 10,25,Transpiração,455,394,47,47,2,131,0,0,0,0,0,0  
 10,26,RadiacaoSolar,133,54,47,11,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 10,27,Alfa da Cultura,221,16,48,11,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 10,28,Alfa do Solo,326,9,41,11,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 10,29,TemperaturaMinima,429,21,65,9,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 10,30,TemperaturaMaxima,459,91,67,9,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 10,31,Alfa,512,155,15,11,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 1,32,26,24,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(227,80)|  
 1,33,27,24,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(274,62)|  
 1,34,28,24,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(330,61)|  
 1,35,29,24,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(385,71)|  
 1,36,30,24,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(405,108)|  
 10,37,IAF,71,110,15,11,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 1,38,37,24,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(183,108)|  
 10,39,TIME STEP,155,441,50,11,8,2,1,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 10,40,Time,134,430,26,11,8,2,1,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 10,41,U,390,180,8,11,8,3,0,2,-1,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 1,42,41,1,0,0,0,0,64,1,-1--1--1,,1|(307,329)|  
 1,43,1,13,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(174,412)|  
 10,44,Precipitacao,-108,311,40,11,8,3,0,2,0,0,0,0,0-0-0,|12||64-160-98  
 1,45,41,13,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(293,222)|  
 10,46,Tempo de Transição,367,273,43,43,2,131,0,0,0,0,0,0  
 1,47,13,22,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(320,385)|  
 1,48,44,6,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(-66,415)|  
 1,49,44,11,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(-104,414)|  
 1,50,2,6,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(140,524)|  
 1,51,2,11,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(114,565)|  
 10,52,aux,180,191,20,20,2,3,0,0,0,0,0,0  
 1,53,24,52,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(239,156)|  
 1,54,37,52,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(158,169)|  
 10,55,Tempo,476,265,29,11,3,131,0,0,0,0,0,0  
 1,56,46,55,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(433,222)|  
 1,57,31,14,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(568,195)|  
 1,58,1,14,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(377,369)|  
 1,59,55,14,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(521,245)|  
 1,60,41,14,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(463,186)|  
 1,61,24,14,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(468,166)|  
 1,62,14,18,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(599,553)|  
 1,63,13,25,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(302,367)|  
 1,64,14,25,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(522,370)|  
 10,65,Precipitacao,679,514,49,11,8,2,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 1,66,65,14,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(683,395)|  
 1,67,24,25,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(522,203)|  
 1,68,37,25,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(133,320)|  
 10,69,U,8,417,17,11,8,2,1,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 1,70,13,46,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(278,286)|  
 1,71,44,13,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(28,267)|  
 1,72,52,13,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(154,221)|  
 1,73,31,46,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(438,192)|  
 1,74,52,46,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(268,206)|  
 1,75,1,46,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(281,399)|  
 1,76,44,46,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(90,228)|  
 1,77,41,46,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(384,204)|  
 1,78,55,46,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(423,250)|  
 10,79,Evapotranspiração Ritchie,837,396,60,24,3,131,0,0,0,0,0,0  
 1,80,13,79,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(505,345)|  
 1,81,14,79,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(734,296)|  
 1,82,25,79,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(643,433)|  
 1,83,25,22,1,0,0,0,2,64,0,-1--1--1,,12||0-0-0,1|(390,456)|  
 1,84,25,18,1,0,0,0,2,64,0,-1--1--1,,12||0-0-0,1|(535,598)|  
 10,85,Evaporación Fase2,480,462,76,16,8,130,0,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128  
 1,86,85,22,1,0,0,0,2,64,0,-1--1--1,,12||0-0-0,1|(399,470)|  
 10,87,EvapotranspiracaoBowen,839,464,63,20,3,131,0,0,0,0,0,0  
 1,88,1,22,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(292,472)|  
 1,89,14,46,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(489,285)|  
 1,90,2,46,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(281,455)|  
 1,91,2,19,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(274,646)|  
 1,92,65,18,1,0,0,0,0,64,0,-1--1--1,,1|(487,634)|  
 ///---\\  
 :L□<%^E!@  
 1:teste.vdf  
 9:teste  
 22:\$,Dollar,Dollars,\$s

22:Hour,Hours  
 22:Month,Months  
 22:Person,People,Persons  
 22:Unit,Units  
 22:Week,Weeks  
 22:Year,Years  
 22:Day,Days  
 10:Ritchie.vdi  
 15:0,0,0,0,0,0  
 19:110,0  
 27:2,  
 34:0,  
 4:Time  
 5:TemperaturaMaxima  
 24:26  
 25:365  
 26:365

## C. 2 – CÓDIGO FONTE DO ARQUIVO RITCHI.VDI

```
:CONNECT DATABASE=pgfa;DSN=cluster;OPTION=0;PWD=pgfa;PORT=0;S\
ERVER=10.1.1.102;UID=pgfa;
```

```
:DATA
```

```

:VARID=codigovariavel
:TIME=sequencia
!:VARNAME=
:VALUE=valor
:SELECT dadosordenados
```

```
:VARLOOKUP
```

```

:VARID=codigo
:VARNAME=nome
!:SUB=sub1
:SELECT variaveis
```

## **ANEXO D - MODELAGEM DE SISTEMAS NO VENSIM**

### **D.1 Introdução**

A análise de um projeto é fundamental para produzir uma especificação do sistema que defina a estrutura do problema a ser resolvido de acordo com a visão do usuário, para que seja realizado um trabalho bem feito. É necessário realizar estudos, acompanhar os processos, verificar os detalhes das ações, a fim de encontrar o melhor caminho para que o sistema consiga alcançar o seu propósito.

### **D.2 Sobre o Vensim**

Vensim é uma ferramenta de modelagem visual que permite conceituar, documentar, simular, analisar e otimizar modelos de sistemas dinâmicos. Ela oferece uma maneira simples e flexível de construção de modelos de simulação de causalidade ou estoque e diagramas de fluxo.

Quando as palavras são conectadas por setas, o sistema de relações entre variáveis são inscritos e registrados como conexões causais. Esta informação é utilizada pelo editor de equações para ajudar a completar o modelo de simulação. É possível analisar o modelo em todo seu processo de construção, verificar as causas da utilização de uma variável, e também os circuitos que envolvem a variável. Logo quando se constrói um modelo que possa ser simulado no Vensim, é possível explorar exhaustivamente o comportamento do modelo, Por meio de suas ferramentas.

A versão do Vensim PLE built-in não existe limitações de funções, se comparada às versões completas. Trata-se de uma versão simplificada do Vensim projetada para aprendizagem de como construir e analisar modelos. Dessa forma foram retiradas todas as funcionalidades não relevantes para a modelagem da aprendizagem das competências. Vensim é um instrumento para a construção de fluxos utilizado na construção de sistema de modelos dinâmicos.

A versão PLE do Vensim é gratuita para uso acadêmico conforme o visto no site do Vensim<sup>9</sup>

Quanto aos requisitos de hardware a família de software do Vensim roda no Sistema Operacional Windows 95/98/NT/2000/XP e no Macintosh pode ser

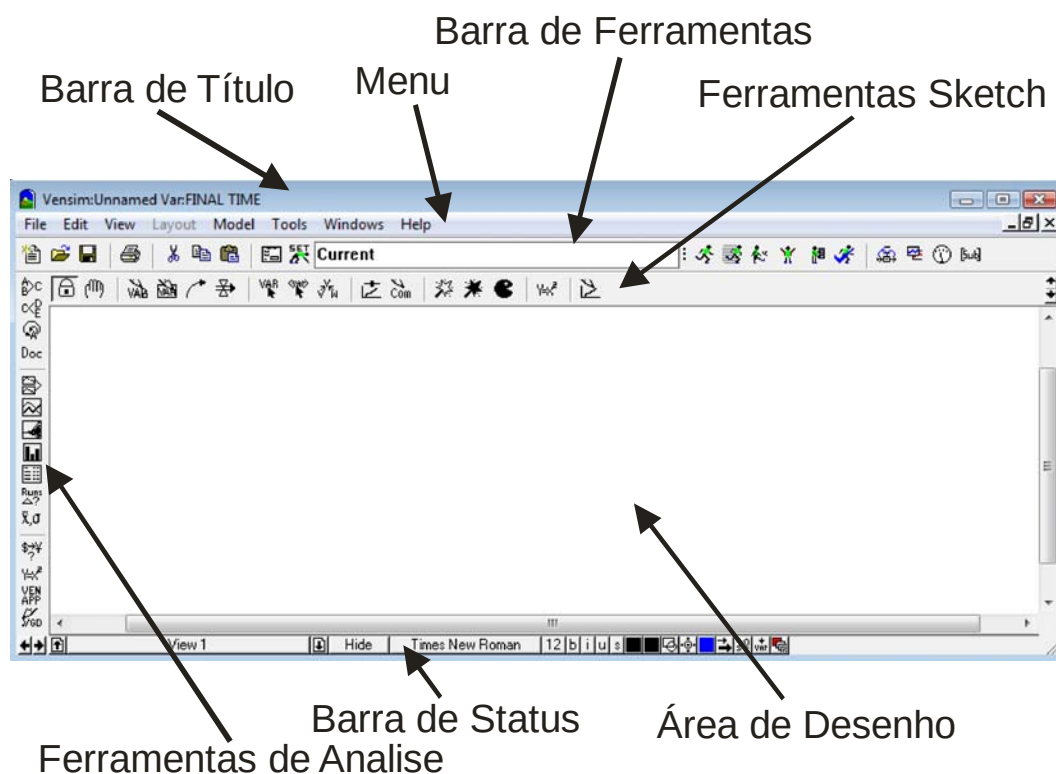
---

<sup>9</sup> <http://www.vensim.com/>

executado no Power Macintosh System 7 ou superior. Ele requer cerca de 20 megabytes de espaço em disco para a instalação completa e pode ser executado com qualquer quantidade razoável de memória, recomendado mínimo de 512 megabytes de memória RAM. Para modelos muito grandes é interessante e recomendado ter mais memória e espaço em disco, simplesmente pelo fato de que uma única simulação pode facilmente ocupar mais de 100 megabytes de espaço em disco. Geralmente é uma boa idéia ter pelo menos uma memória como o tamanho do maior arquivo VDF<sup>10</sup> que você está criando.

### D.3 Modelagem no Vensim

O Vensim usa uma interface que pode ser pensada como uma mesa e como um conjunto de ferramentas. O principal é a janela Vensim Workbench, que inclui a Barra de título, o menu, barra de ferramentas, e ferramentas de análise. Quando Vensim tem um modelo aberto, a Barra de desenho e as Barra de ferramentas também aparecem.



**Figura 1** - Tela Principal do Vensim

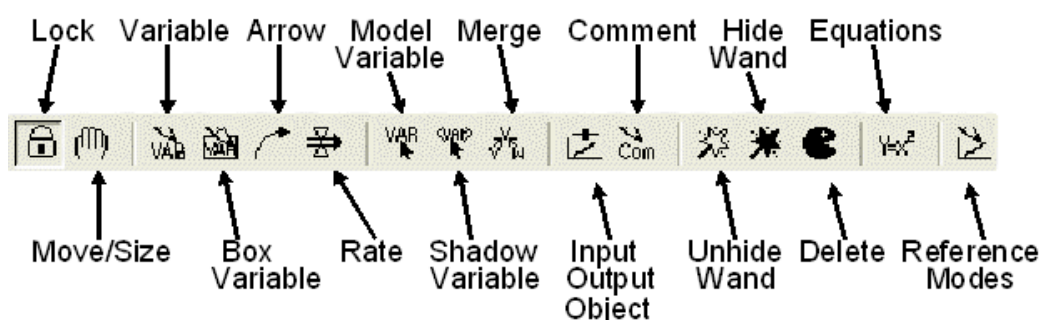
Basicamente o Vensim trabalha com a seta que indica o fluxo, a Var que indica a existência de uma variável que pode ou não ser uma constante e a Caixa que é um estoque ou variável de armazenamento.

<sup>10</sup> Vensim Data File ( VDF ) é a extensão que o Vensim utiliza para salvar os dados da simulação



Segundo Costa as principais funções da barra de ferramentas Skeetch são:

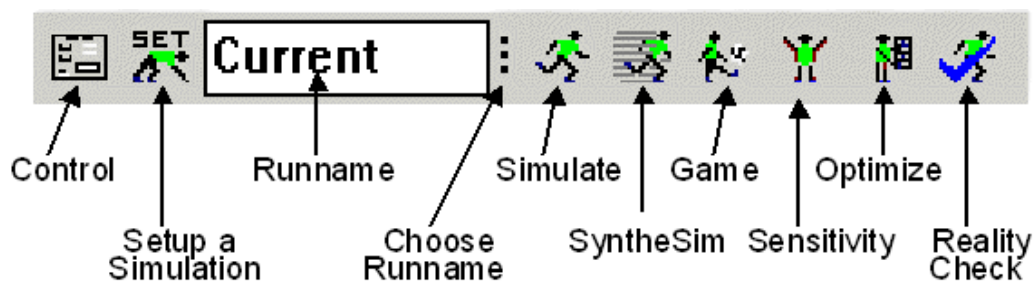
1. **Seta – Arrow**, informa a uma variável a existência de outra, que será usada numa equação. A ponta da seta ficará no local onde o movimento do cursor terminar. No meio da Arrow vai aparecer uma “bolinha” que permite ajustar a seta resultante;
2. **Caixa - Box Variable** - Define ou cria uma variável onde vão ser acumulados valores. Normalmente do tipo “Level”. Os valores que vão ser somados ou subtraídos devem ser sempre indicados com variáveis definidas com o botão “Rate”. No Editor de Equações temos de informar o valor inicial do acumulador;
3. **Taxa – Rate** - Define ou cria uma variável do tipo “Constant”, que poderá ser um valor ou uma equação. Estas variáveis indicam os valores que vão ser somados ou subtraídos nas variáveis acumuladores (Box Variable - Level);
4. **Equações – Equations** - Abre o Editor de Equações para colocar valores ou equações numa variável.



**Figura 2** - Barra de Ferramentas Sketch

Depois de modelado todo o sistema em questão é realizado as simulações, essa simulações pode ser feitas, segundo Costa utilizando as seguintes opções:

1. **Set Up a Simulation** - Executa uma simulação, permitindo alterar as variáveis exógenas NEGRITADAS;
2. **Run a Simulation** - Executa uma simulação;
3. **Automatically Simulate on Change** - Executa “n” simulações, mostrando gráficos das variáveis endógenas e “sliders” para alterar em tempo real as variáveis exógenas;
4. **Run Reality Checks** - Permite simulações especiais.



**Figura 3** - Barra de Ferramentas Vensim (2008)

Dessa forma com base na análise é possível modelar toda a funcionalidade do sistema e simular o modelo no Vensim, com as respectivas opções e ferramentas já demonstradas.

#### **D.4 Conectando o Vensim a arquivos do Excel**

Para se buscar uma informação que esteja em uma planilha do Excel o primeiro passo é deixar o arquivo no mesmo diretório do arquivo .mdl do Vensim. Utilize a função da equação sobre uma variável para entrar com as opções desejadas.

##### **D.4.1 Constantes**

Para inserir uma constante no seu modelo de simulação utilize o comando *get xls constantes*, abaixo segue a sua sintaxe e um exemplo de sua utilização.

Sintaxe: GET XLS CONSTANTS( 'arquivo-do-excel','planilha','celular' )

Exemplo: GET XLS CONSTANTS( 'constantes.xls','constantes', 'B5' )

##### **D.4.2 Dados**

Para inserir valores do tipo dados, que tem como característica a cada ciclo pegar um valor seqüencial na planilha do Excel, conforme o *timestamp* corrente utilize *get xls data*.

**Tabela 1** – Planilha do Excel com dados de temperatura

|   | A         | B          | C     |
|---|-----------|------------|-------|
| 1 | Timestamp | Data       | Tmax  |
| 2 | 0         | 26/01/2007 | 31,66 |
| 3 | 1         | 27/01/2007 | 30,48 |
| 4 | 2         | 28/01/2007 | 29,83 |
| 5 | 3         | 29/01/2007 | 33,57 |

Com base na Tabela 1, o timestamp é o tempo de passo do sistema, certifique-se que o *timestamp* do seu modelo coincida com o *timestamp* do arquivo do Excel.

Sintaxe: GET XLS DATA('arquivo-do-excel','planilha','celular-do-timestamp','celula-com-o-valor-inicial')

Exemplo: GET XLS DATA( 'dados.xls','dados', 'A','C2' )

## D.5 Conectando o Vensim a Base de Dados via ODBC

Esta sessão apresenta a forma de utilizar o Vensim para obter informações de uma conexão utilizando ODBC, sendo ele um padrão para acesso a sistemas gerenciadores de bancos de dados. Com a utilização do ODBC é possível conectar a um SBGD como o MySQL, Microsoft-SQL e ORACLE, somente mudando a referencia e o Driver do ODBC.

### D.5.1 Instalando e configurando o ODBC

Esta dissertação trabalho com MySQL, então o procedimento apresentado aqui será inerente ao Driver ODBC do MySQL.

O Primeiro passo a ser feito é baixar o Driver ODBC 3.51 para MySQL<sup>11</sup>, a versão do ODBC 5.1 não teve um bom funcionamento, feito isso instale-o como qualquer programa Windows.

### D.5.2 Criando o arquivo .VDI

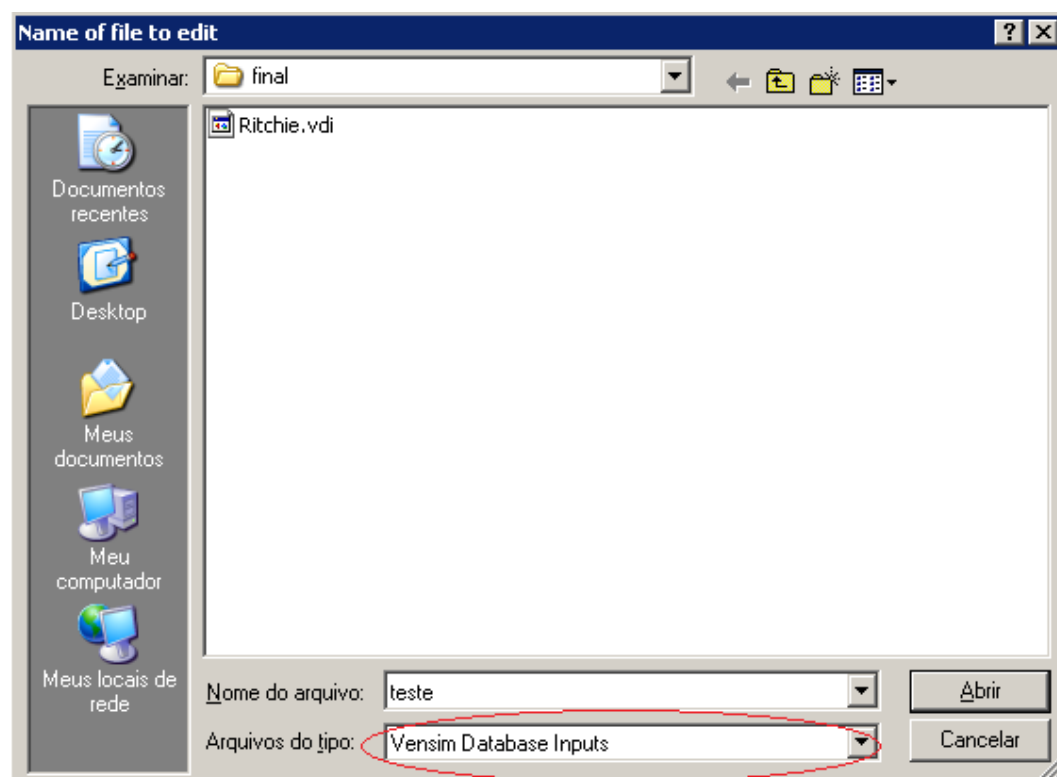
Para criar um arquivo .VDI utilize o editor de texto apresentado na Figura 4.



**Figura 4** – Utilizando o Editor de Texto do Vensim

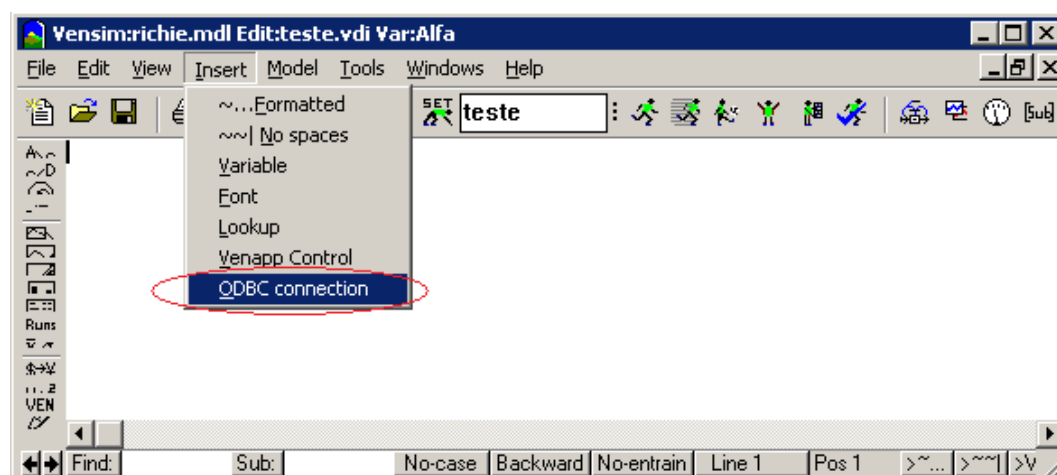
<sup>11</sup> <http://dev.mysql.com/get/Downloads/Connector-ODBC/3.51/mysql-connector-odbc-3.51.27-win32.msi/from/ftp://ftp.pucpr.br/mysql/>

O próximo passo é criar um arquivo .VDI (Figura 5), para isso entre com o nome do arquivo a ser criado e certifique-se de que o Tipo do Arquivo seja Vensim Database Inputs e pressione *Abrir*.



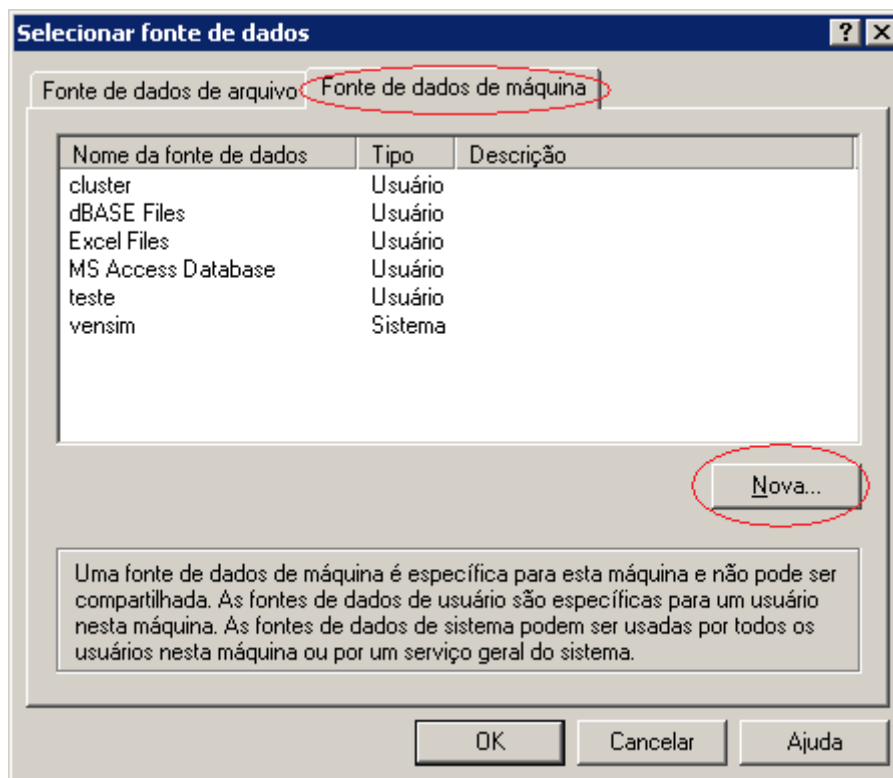
**Figura 5** – Utilizando o Editor de Texto do Vensim

Assim que o editor de texto abrir utilize a opção *inserir->ODBC connection* para inserir a conexão via ODBC.



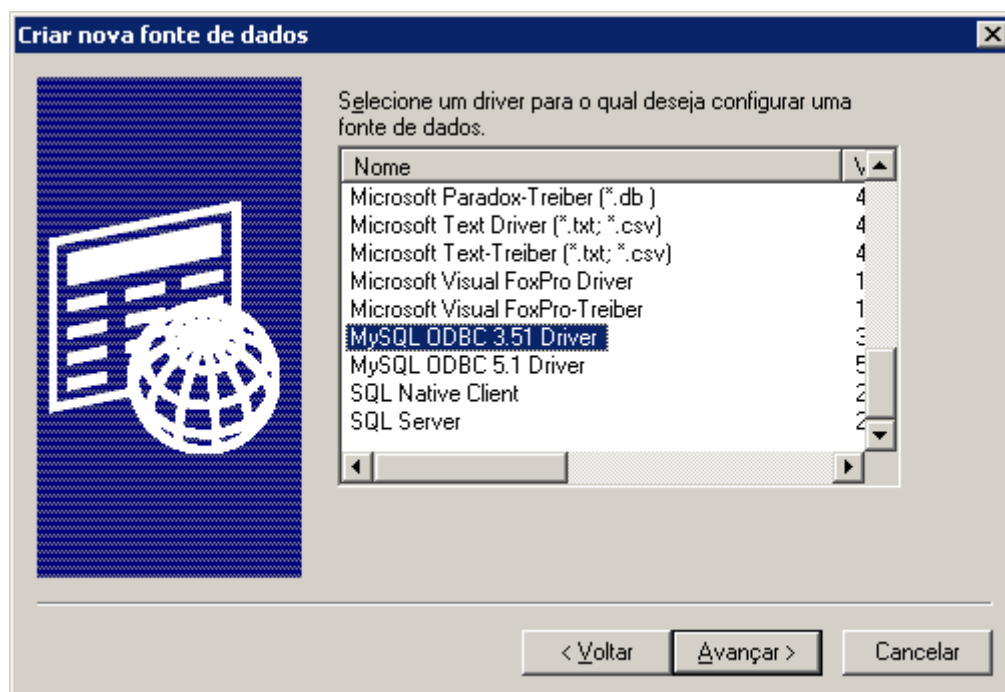
**Figura 6** – Utilizando o Editor de Texto do Vensim

Após selecionado a opção, a janela de Selecionar Fontes de Dados será apresentada (Figura 7), seleciona a guia Fonte de Dados de máquina e selecione Nova, seleciona a opção Fonte de Dados do Usuário e clique em *Avançar*.



**Figura 7** – Utilizando o Editor de Texto do Vensim

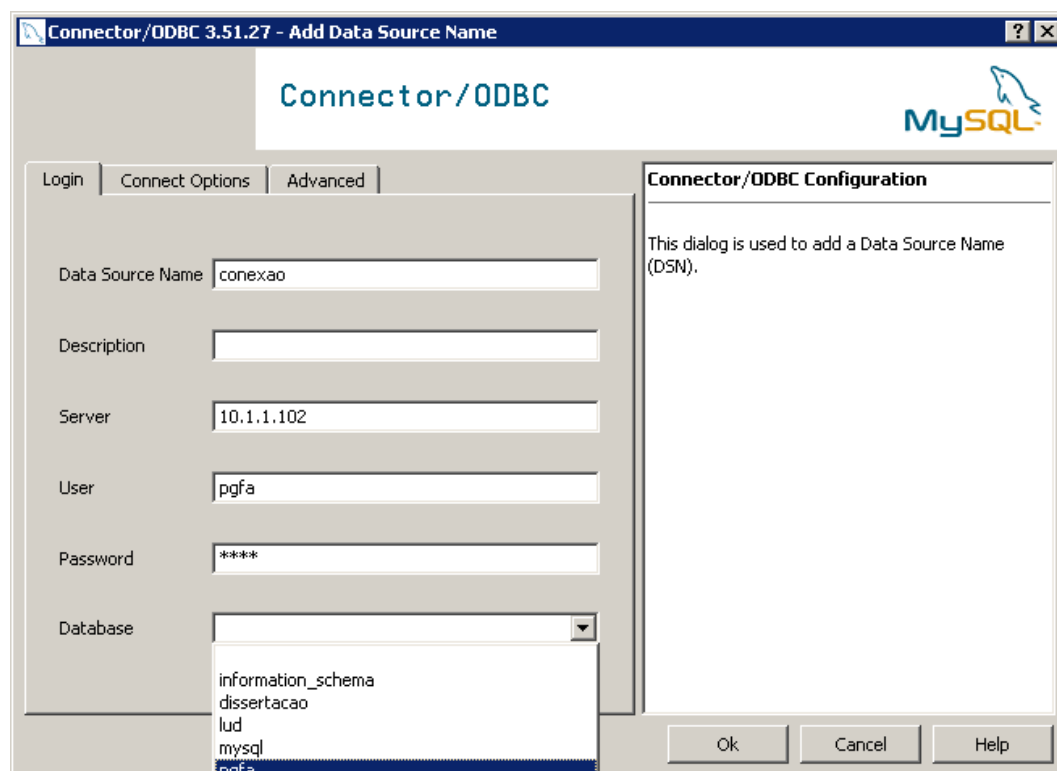
Selecione a Opção de Driver do MySQL ODBC 3.51 Driver (Figura 8) e clique em avançar e depois em concluir



**Figura 8** – Utilizando o Editor de Texto do Vensim

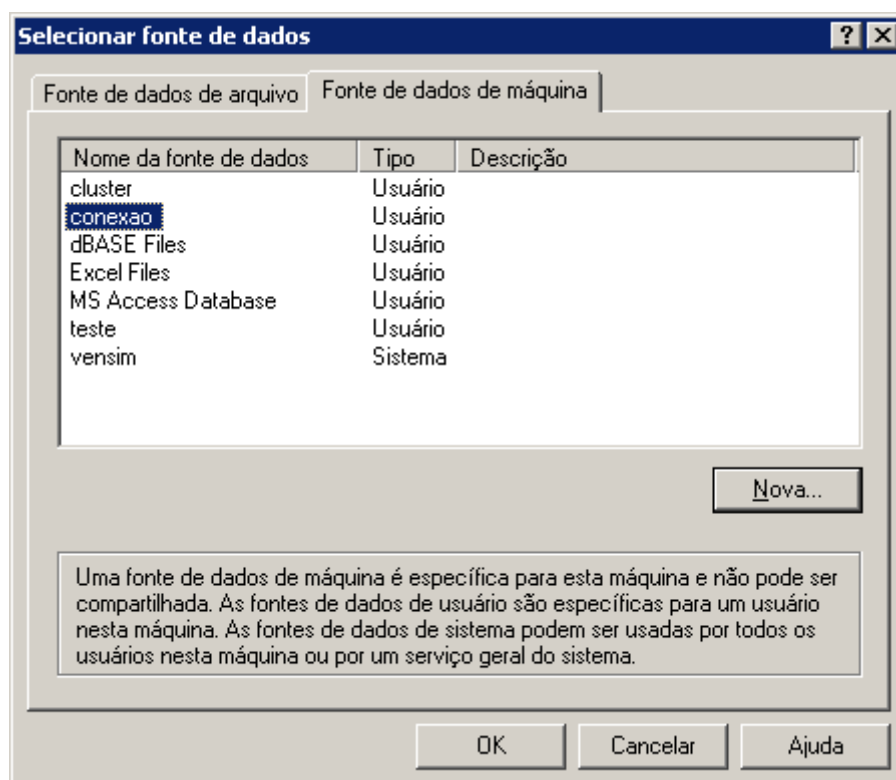
Quando concluir, a janela específica de configuração do ODBC do MySQL (Figura 9) será apresentada, nela deve-se configura o nome da conexão (Data Source Name), o IP do servidor MySQL (Server), o usuário (User) e a

Senha (Password), com esses parâmetros digitados ao se clicar na base de dados (DataBase) o ODBC ira mostrar todas as base de dados existentes, seleciona a que deseja utilizar e clique em OK.



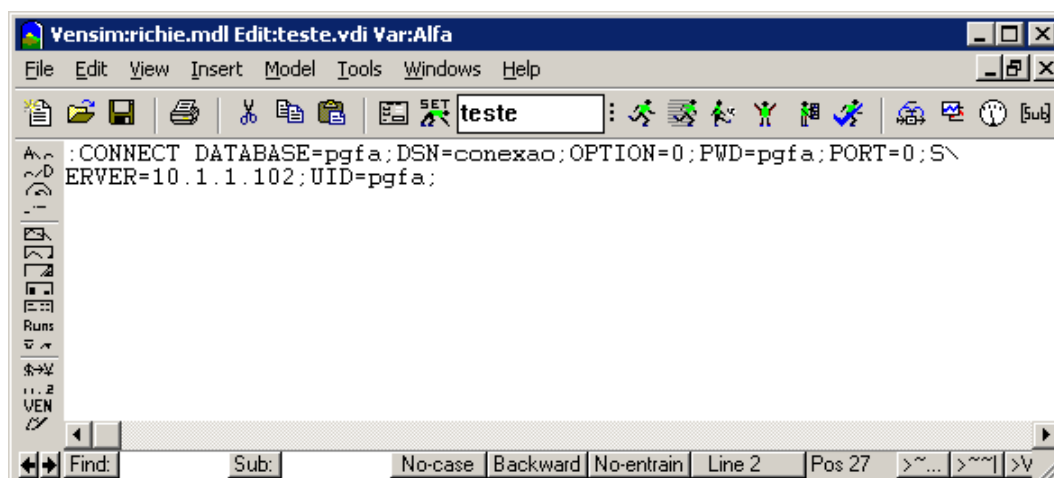
**Figura 9** – Configurando a conexão por ODBC com o Cluster

A ultima etapa é selecionar a Fonte de Dados criada (Figura 10) e clique em OK.



**Figura 10** – Configurando a conexão por ODBC com o Cluster

Feito isso você verá a entrada da conexão como algo semelhante o apresentado na Figura 11.



**Figura 11** – Incluindo o comando de conexão com o ODBC.

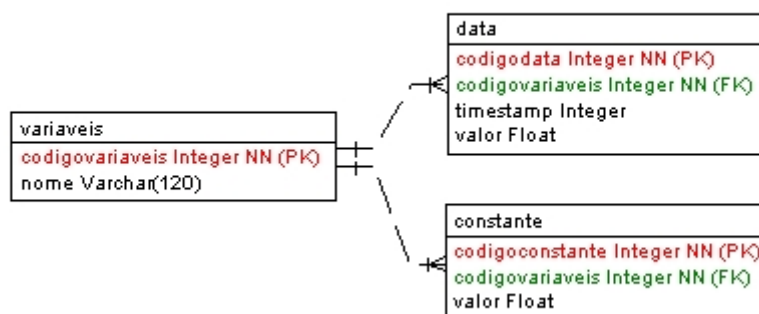
#### D.5.2.1 Padrão de tabelas utilizado pelo Vensim

O Vensim quando conectado a um SBGD utiliza uma tabela para listar todas as variáveis do modelo, neste caso representado pela tabela *variaveis* (:varlookup).

A tabela *data* (:data) que contém os valores *data*, deve ter uma atenção especial, logo se você tiver uma simulação que possui um total de 6 ciclos e duas variáveis no sistema que receba os valores dessa tabela, então você deverá ter 6 tuplas para a primeira variável, onde cada tupla terá o timestamp específico de cada ciclo, mais 6 tuplas referente a segunda variável, nos mesmo moldes da primeira variável.

No arquivo .VDI o caractere “!” representa comentário.

[1,1]



**Figura 12** – Estrutura das tabelas para utilizar na conexão via ODBC.

### D.5.2.2 Data

```
:DATA
    !Atributo que terá o nome da variável
    !:VARNAME=Varname
    !Atributo que terá o código da variável
    :VARID=codigovariaveis
    !Atributo que terá o valor to TimeVal
    :TIME=timestamp
    !Atributo que terá o valor da variável
    :VALUE=valor
    !Nome da tabela
    :SELECT data
```

### D.5.2.3 Constantes

```
:CONSTANTS
    !:VARNAME=Varname
    !Atributo que terá o código da variável
    :VARID=codigovariaveis
    !Atributo que terá o valor da variável
    :VALUE=valor
    !Nome da tabela
    :SELECT constante
```

### D.5.2.4 Lista das variáveis

```
:VARLOOKUP
    !Atributo que terá o código da variável
    :VARID=codigovariaveis
    !Atributo que terá o nome da variável
    :VARNAME=nome
    !:SUB=sub1
    !Nome da tabela
    :SELECT variaveis
```



## **ANEXO E – CD COM ARTIGOS E MATERIAIS UTILIZADOS NESTA DISSERTAÇÃO**