CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL
INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS

BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO PARA ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

LUDMILA ALEXANDRA DOS SANTOS SARRAIPA

Campinas
Estado de São Paulo
Julho - 2003

BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO PARA ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

LUDMILA ALEXANDRA DOS SANTOS SARRAIPA

Geógrafa

Orientador: Dr. Márcio de Morisson Valeriano

Dissertação apresentada ao Instituto Agronômico de Campinas para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical - Área de Concentração Gestão de Recursos Agroambientais

Campinas
Estado de São Paulo
Julho - 2003

S75b Sarraipa, Ludmila Alexandra dos Santos
Banco de dados georreferenciado para zoneamento edafoclimático do Estado de São Paulo / Ludmila Alexandra dos Santos Sarraipa. – Campinas, 2003.

xi, 72 p. : il.

Orientador: Márcio de Morisson Valeriano
Dissertação (mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas.

1. Banco de dados - Digital. 2. Geoprocessamento. 3. Planejamento agrícola. 4. Zoneamento.

CDD: 631.12

OFEREÇO

Aos meus pais *DIÓGENES* e *NEIVA* e aos irmãos queridos *MAXIM* e *SABRINA* (in memorian).

DEDICO

Aos meus amores *MARIO* e *MARIANE*.

Criamos a época da velocidade, mas nos sentimos enclausurados dentro dela. A máquina, que produz abundância, tem-nos deixado em penúria. Nossos conhecimentos fizeram-nos céticos e empedernidos. Pensamos em demasia e sentimos pouco. Mais do que de máquinas, precisamos de humanidade. Mais do que inteligência, precisamos de afeição e doçura.

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa cedida e pelo incentivo a muitos alunos que recorrem ao programa.

Ao Instituto Agronômico pela oportunidade concedida e pela excelência da estrutura do curso de pós-graduação.

Ao Dr. Márcio de Morisson Valeriano, pela confiança, dedicação e pela orientação que possibilitou o desenvolvimento e a realização deste trabalho. Também pela conversa amiga e pela convivência agradável que permitiram a tranqüilidade dos acontecimentos.

Aos pesquisadores do Laboratório de Geoprocessamento, Dr. Francisco Lombardi Neto, Dr. Pedro Luiz Donzeli, Dr. Francisco de Paula Nogueira, Dr. Jener Fernando Leite de Moraes e Dr. Hélio do Prado, pelo importante apoio no mestrado e estágio.

Ao Dr. Altino Aldo Ortolani por transcender suas atribuições na coordenadoria do curso e pela delicadeza oferecida a todos.

A toda equipe da secretaria de Pós-graduação que sempre estiveram dispostas a auxiliar no dia a dia dos alunos.

As secretárias Elisabete Monteiro, Tânia Maria Nicoletti e Alfredo Armando Carlstrom Filho pela prontidão nas questões burocráticas e auxílio do dia a dia.

Aos amigos Ivan Paulo Mendes Negreiros e Nícia Marcondes Zingra pelo apoio em tudo.

Ao estagiário João Paulo de Carvalho e a colega Thaís Barbosa Guarda Prado pelo pronto auxílio.

Aos professores de graduação da UNESP (Presidente Prudente) por despertar e instigar o espírito investigativo dos alunos.

A professora Dra. Mara Weill por ter contribuído na minha formação.

Aos participantes da banca Dr. Alfredo da Costa Pereira Júnior (INPE) e Dr. Mário José Pedro Júnior (IAC).

Ao Dr. Antônio Carlos Moniz (Tony), pela alegria circulante do IAC (in memorian).

SUMÁRIO

RESUMO..... x
SUMARY..... xi
1. INTRODUÇÃO..... 1
2. REVISÃO DE LITETATURA..... 3
2.1 Contextualização..... 3
2.2 Dados espacializados..... 6
2.3 Tipos de dados..... 8
2.4 Funções de SIG..... 10
2.5 Zoneamento..... 15
2.6 Aptidão ecológica para a cultura do café..... 21
2.7 Suporte ao gerenciamento..... 25
2.8 Propagação de erros..... 27
3. MATERIAL E MÉTODOS..... 28
3.1 Detalhamento das atividades..... 28
3.2 Especificação dos dados utilizados..... 29
3.2.1 A área de estudo..... 29
3.2.2 Dados do meio físico..... 31
3.3 Especificação dos equipamentos utilizados..... 34
3.4 Geoprocessamento dos dados..... 35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 37
4.1 Planos de informação básicos..... 37
4.1.1 Solos..... 38
4.1.2 Clima..... 40
4.2 Operação dos planos de informação..... 46
4.2.1 Seleção e cálculo de variáveis de interesse agrícola.... 46
4.2.2 Classificação das áreas..... 46
5. CONCLUSÕES..... 58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62
7. APÊNDICES..... 67
Apêndice A **-** Grupos de solos do Estado de São Paulo..... 67

Apêndice B - Mapas de médias mensais de temperatura do ar, estratificados em classes de 2^{o}C..... 68

Apêndice C - Mapas de precipitação pluvial média mensal do Estado de São Paulo estratificados em classes de 50 mm..... 69

Apêndice D - PI de Deficiência Hídrica para CAD de 50 mm, 100mm e 125 mm..... 70

LISTA DE FIGURAS

Número.....pág.

Figura 1 – Desdobramento da paisagem em Planos de Informação (PI)..... 7

Figura 2 – Representação da estrutura raster e vetorial (VALENZUELA, 1991)..... 9

Figura 3 – Visualização da topografia sob quatro formas diferentes: (a) curvas de nível; (b) níveis de cinza; (c) perspectiva; e (d) aspecto..... 11

Figura 4 – Mapa da distribuição da qualidade de bebida do café (MORAES et al., 1969)..... 16

Figura 5 – Viabilidade Climática para o cafeeiro (1969)..... 17

Figura 6 – Distribuição da cultura cafeeira junto aos grandes grupos de solos (1969)..... 18

Figura 7 – Zoneamento Final (1974)..... 19

Figura 8 – Montagem e funcionamento de um banco de dados geográficos.... 26

Figura 9 – Localização da área de estudo..... 30

Figura 10 – Preparação e avaliação do plano de informação de altimetria. Adaptado de VALERIANO et al. (2002)..... 32

Figura 11 – Fluxo de dados para espacialização dos dados de temperatura. Adaptado de VALERIANO & PICINI (2000)..... 33

Figura 12 – Fluxo de dados para mapeamento de dados de chuva. Adaptado de VALERIANO et al. (2002)..... 33

Figura 13 – Fluxograma da montagem do banco de dados para aptidão do café..... 35

Figura 14 – Mapa de Solos do Estado de São Paulo contendo 434 classes (arquivo cedido pelo Laboratório de Geoprocessamento - Centro de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico)..... 38

Figura 15 – Distribuição territorial das classes do solo para o Estado de São Paulo..... 40

Figura 16 – Temperatura média anual do Estado de São Paulo..... 41

Figura 17 – Distribuição das médias anuais de temperatura em área, com intervalos de 1ºC a partir da sua ocorrência..... 42

Figura 18 – Distribuição das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo, com intervalos de 1ºC a partir de sua ocorrência..... 43

Figura 19 – PI de Precipitação média total anual do estado de São Paulo em intervalos de 10 mm em 10 mm..... 44

Figura 20 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal do Estado de São Paulo..... 45

Figura 21 – Classes de profundidade dos solos do Estado de São Paulo..... 47

Figura 22 – PI de limitação térmica com a totalidade das classes e seus intervalos de temperatura..... 48

Figura 23 – Espacialização das classes de aptidão térmica..... 49

Figura 24 – Distribuição das classes de aptidão térmica para o café..... 49

Figura 25 – PI de deficiência hídrica para CAD 125..... 50

Figura 26 – PI de aptidão hídrica 51

Figura 27 – Distribuição das áreas de deficiência hídrica para o cultivo do café..... 51

Figura 28 – PI de aptidão climática com a totalidade das classes..... 53

Figura 29 – PI de Aptidão Climática com o agrupamento das classes conforme sua restrição..... 53

Figura 30 – Distribuição das áreas e porcentagem das classes do PI de Aptidão Climática..... 54

Figura 31 – PI de Aptidão Geral com todos as sobreposições existentes..... 55

Figura 32 – PI de Aptidão Geral..... 57

Figura 33 – Gráfico de áreas e porcentagens do PI de Aptidão Geral. 57

Figura 34 – Sobreposição dos mapas de Aptidão Climática (2003) e Viabilidade Climática para o cafeeiro (1969)..... 61

LISTA DE QUADROS

Número.....pag.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos modelos raster e vetorial (SILVA, 1999)..... 10

Quadro 2 - Atributos edáficos usados no Zoneamento do café feito em 1974..... 23

Quadro 3 – Critérios de aptidão para variáveis de solo..... 24

Quadro 4 - Classes de aptidão climática para o café segundo CAMARGO et al.(1977)..... 25

Quadro 5 - Estrutura geométrica de imagem para o Estado de São Paulo..... 31

Quadro 6 - Classes de aptidão do banco de dados digitais do zoneamento de Minas Gerais..... 36

Quadro 7 – Classes de solos para o Zoneamento e o correspondente a sua abrangência no Mapa Pedológico de OLIVEIRA (1999)..... 39

Quadro 8 – Distribuição espacial da média anual de temperatura no Estado de São Paulo..... 42

Quadro 9 – Tabulação cruzada entre limitação térmica e limitação hídrica e seleção de classes de aptidão climática..... 52

Quadro10 – Seleção das classes de aptidão geral (profundidade X clima)..... 56

Quadro 11 – Classes de aptidão climática e profundidade..... 56

BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO PARA ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Autora: Ludmila Alexandra dos Santos Sarraipa
Orientador: Márcio de Morisson Valeriano

RESUMO

Esse trabalho organizou em um banco de dados digital por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) as variáveis edáficas e climáticas passíveis de manipulações para fins de planejamento agrícola.

O estudo se deu em escala estadual, compreendendo as generalizações cartográficas que envolvem esse tipo de mapeamento. A área foi o Estado de São Paulo, onde foi estruturado em meio digital qual a melhor maneira para representar os fenômenos ocorridos.

O levantamento dos dados teve como premissa a compatibilização dos diversos temas que formaram o banco de dados. Com uma estrutura geométrica igual para os conjuntos de dados, realizaram-se operações de geoprocessamento gerando temas intermediários e finais necessários a um zoneamento. Esses temas, chamados de Planos de Informação (PI), foram divididos em climáticos e edáficos. Os PI climáticos foram divididos em média anual de temperatura, média anual de chuva, e depois da inserção das limitações para a cultura do café em “limitação térmica”, “limitação hídrica” e abrangendo as duas características em “aptidão climática”. Nas limitações edáficas foi criado um PI referente à profundidade efetiva dos solos que depois de inserido as condições para o desenvolvimento do café, gerou-se a “profundidade”.

Nos resultados obtidos, 13% das regiões com o cultivo do café são aptas, 39% das regiões são restritas e 48% das regiões são inaptas. Esse resultado foi rígido, pois foram considerados padrões extremos para um ótimo desenvolvimento do café. Pode-se, no entanto, classificar com menor rigor, tolerando classes em que o índice pluviométrico possa ser restrito ou inapto no tema, com recomendações de irrigação, ou outra indagação feita pelo especialista na cultura e na região.

DATA BASE GEOREFERENCE FOR AGRICULTURAL ZONING OF SÃO PAULO STATE

Autora: Ludmila Alexandra dos Santos Sarraipa
Orientador: Márcio de Morisson Valeriano

SUMARY

This work organized in a digital data base by means of a Geographic Information System (GIS) the soil variable and climatic variable passive of manipulations, for ends of agricultural planning.

The study if it gave in state scale, understanding the cartographic generalizations that involve this type of mapping. The area was the State of São Paulo, where the best way was structuralized in digital way which to represent the occurred phenomena.

The survey of the data had with premise the compatible of the diverse subjects that had formed the data base. With equal a geometric structure for the data sets, operations of geoprocessing had been become fullfilled generating necessary intermediate and the last subjects to a zoning. These subjects, called Plans of Informação (PI), had been divided in climatic and soil. The climatic PI had been divided in annual average of temperature, annual average of rain, and after the insertion of the limitations for the cultivation of the coffee in thermal limitation, hídrica limitation and enclosing the two characteristics in climatic aptitude. In the soil limitations a referring PI to the depth was created accomplishes of the ground that after inserted the conditions for the development of the coffee, generated the depth.

In the gotten results, 13% of the regions with the cultivation of the coffee are apt, 39% of the regions are restricted and 48% of the regions are inapt. This result was rigid, therefore extreme standards for an excellent development of the coffee had been considered. Can, however, classify with lesser severity, tolerating classrooms where the pluviométrico index can be restricted or inapt in the subject, with recommendations of irrigation, or another investigation made for the specialist in the cultivation and the region.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas surgidos pelo uso desregulado dos recursos naturais sugerem a necessidade de desenvolvimento de políticas de planejamento. Na agricultura, o conhecimento sobre a limitação e potencialidade das áreas estabelece critérios para um aproveitamento mais adequado sobre as atividades produtivas.

A maioria dos trabalhos dessa natureza realizados no Estado de São Paulo privilegia o estudo climático. O uso de dados edáficos é feito em escalas com um detalhamento maior como áreas de microbacias ou determinadas regiões que perfazem uma parte do Estado como o médio Paranapanema, Alta Mogiana, entre outras. Geralmente em escalas estaduais, com exceção de trabalhos analógicos, no território paulista são realizadas pesquisas como o risco climático, aptidão climática ou zoneamento climático feitas independentemente das classes de solo.

A integração dos temas ligados às condições edáficas e climáticas podem fornecer condições de utilização do solo contemplando as características das regiões. O uso de Sistema de Informação Geográfica pode integrar esses diferentes atributos em um banco de dados possibilitando o desenvolvimento de zoneamentos que indiquem áreas com um aproveitamento melhor, pois possui várias informações inerentes ao problema em questão. Os zoneamentos são processos objetivos e dependem de várias informações para alimentar o banco de dados e assim podem responder com segurança pelo ordenamento territorial. Na atividade rural esses tipos de trabalhos definem, a partir da escolha de culturas, áreas onde há maior, menor, ou nenhuma limitação ao processo produtivo na área estudada.

Esse estudo tem como objetivo a formação de um banco de dados digital em Sistema de Informação Geográfica - SIG para planejamento agrícola, ambiental etc. A compatibilidade dos Planos de Informação – PI (aptidão climática e profundidade efetiva) exigidos nesse tipo de estudo foi testada com os parâmetros referentes à cultura do café em relação à delimitação de áreas aptas, restritas e inaptas para esse tipo de cultivo. Em termos práticos procura-se saber:

a) Se o banco de dados pode oferecer funcionalidade às questões das limitações e potencialidades agrícolas, e como a estrutura dos PI pode possibilitar a manipulação dos dados com segurança.

b) Como os dados edáficos e climáticos podem favorecer a análise geral das regiões paulistas.

c) Como o SIG se comportará na geração dos PI intermediários e finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contextualização

A representação do mundo e suas paisagens é feita desde os primórdios da humanidade. O mapa mais antigo é de Ga-Sur, feito na Babilônia, moldado em um pedaço de argila de 7 cm X 8 cm, datado aproximadamente de 2400 a 2200 AC., representando um Vale, do Rio Eufrates, foi criado para fins militares (SILVA, 1999).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) diz que “mapa é a representação gráfica, em geral em superfície plana, com escala conhecida representando acidentes físicos e características culturais da superfície da terra de um planeta ou de um satélite”. Cartas são definidas como a representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinados a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e localizações. Geralmente possuem escalas médias a grandes de uma parte da superfície da Terra, subdividida em folhas de forma sistemática, obedecido a um padrão nacional ou internacional (SILVA, 1999).

A ciência que estuda a confecção das representações naturais ou culturais é a cartografia e sua evolução se deu a partir da melhora nos meios de mensuração das áreas. Claudios Ptolomeu descreveu ensaios cartográficos escritos no século II AC, como a Terra sendo esférica poderia ser representada em mapas planos; a invenção da imprensa no século XV; estudos e sistematizações de projeções cartográficas (Gerhardus Mercartor) também no século XV, técnicas de fotografia e litografia obtidos no final do século, a fotogrametria e o sensoriamento remoto. Essa sucessão de acontecimentos e descobrimentos desenvolveu as técnicas de representação do espaço, permitindo sempre uma melhor aproximação dos fenômenos naturais.

Existe várias fases da Cartografia, dependendo da limitação técnica ou teórica. Os primeiros levantamentos consistiam na observação, classificação e mapeamento temático qualitativo. Para os dados quantitativos era necessária a confecção de uma grande quantidade de cartas, dificultando uma visão integrada das diferentes variáveis explicativas do modelo de ocorrência de um fenômeno espacial.

Vários registros importantes exemplificam os mapas descritivos como figuras rupestres encontrados ao Norte da Itália representando a localidade de Bedolínia e sua cultura agrícola em 2400 AC. Outro mapa foi achado entre tribos indígenas do Pacífico esquematizando por meio de hastes de coqueiros e conchas o movimento das ondas e o arquipélago. No Brasil os índios da região do Rio Xingu, representavam juntamente o rio com os afluentes (SILVA, 1999).

Os SIG se formaram antes das plataformas computacionais em que pode ser exemplificado na sobreposição de mapas para a construção de estradas de ferro na Irlanda em 1834 (SILVA, 1999) ou simplesmente na plotagem dos casos de cólera em Londres representando pontualmente a distribuição dos casos da doença podendo analisar as ocorrências em relação às condições sanitárias da área infectada. Já no começo do século XIX foram realizados estudos em que tabelas eram vinculadas às análises espaciais e geração de outros mapas, evoluindo para inserção de malhas regulares de células e análises estatísticas.

No final da década de 50 profissionais ligados à produção de mapas incorporavam em suas atividades rotineiras o armazenamento dos dados em computadores. A partir daí as descrições do mundo real passaram a serem feitas em forma digital, além da analógica. A representação analógica é expressa em papel e a digital em dados binários, manipuláveis em computadores. Segundo SILVA (1999), os primeiros sistemas dessa natureza eram simples e possuíam características de armazenamento, recuperação de dados, reclassificação, sobreposição e listas. Depois, operações matemáticas e uso de modelos determinísticos fariam parte das operações dos sistemas em que se cita um exemplo de SILVA (1999) que formalizou estudos de aptidão do uso das terras a partir de modelos.

Em 1970, imagens de sensoriamento remoto vieram somar informações para formação de bancos de dados e propriamente aos estudos das ocorrências dos fenômenos, auxiliando na geração de mapas. Com a evolução da informática, a interface do usuário com o programa se tornou mais amigável, possibilitando que vários especialistas manipulassem dados espaciais.

Com o desenvolvimento e a popularização dos SIG, houve aprimoramentos na análise dos fatores ambientais no planejamento das atividades ligadas ao meio rural e urbano. Atualmente, com os recursos básicos de um computador pessoal

comum, é possível a manipulação georreferenciada de dados de mapeamento em SIG, com obtenção de resultados ágeis e flexíveis. A análise é feita tanto em escalas amplamente variáveis, como pesquisas em microbacias, bacias, escalas estaduais, ou em áreas mais abrangentes.

A exemplo do que foi feito para São Paulo na década de 1970 (CHIARINI et al., 1974), quando foram estruturados dados pedoclimáticos estaduais, outros Estados prepararam as respectivas bases de dados sob as mesmas metodologias cartográficas (Minas Gerais, 1980) ou, mais recentemente, com recursos de geoprocessamento (CHAGAS et al., 2000; CARVALHO JÚNIOR et al., 2001, AMARAL et al., 2001, ALVES et al., 2001). Estes estudos foram elaborados nas escalas 1:500.000 (Rio de Janeiro e Acre) ou 1:1.000.000 (Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás).

Ao caracterizar o potencial e as restrições existentes no zoneamento, a estruturação de banco de dados representa um instrumento que pode conciliar as demandas de informação para o desenvolvimento econômico e aquelas requeridas para subsidiar a preservação ambiental. No trabalho de SERRA FILHO & CAVALLI (1985), dados cartográficos do Estado de São Paulo foram suplementados com auxílio de técnicas de fotointerpretação e organizados em banco de dados de SIG. Entre as metas atingidas neste projeto, encontram-se os mapas de Aptidão Climática para a cana-de-açúcar e análises dos impactos de sua expansão e concentração na região de Ribeirão Preto.

A necessidade de otimização da análise das variáveis edafoclimáticas motivou um estudo recente de identificação dos fatores influentes na produtividade da cultura do café paulista (WEILL et al., 1999). Os autores desenvolveram modelos de estimativa de produtividade de café com base em regressões múltiplas com variáveis físicas e químicas do solo e variáveis climatológicas. Entre os resultados encontrados, destaca-se a constatação de uma queda sistemática de 400kg.ha^{-1}.ano^{-1}, no período de 1984 a 1989. As variáveis ambientais mais freqüentes a explicar a variação da produtividade foram temperatura mínima na época de abotoamento/florescimento e a soma dos teores de silte e argila nos horizontes superficiais do solo. Outras variáveis de forte poder de estimativa estão ligadas ao manejo da cultura.

Na amplitude latitudinal da área do Estado (entre as latitudes 20º e 25º sul), a variação das condições climáticas e edáficas são expressivas. Recentemente (VALERIANO & PICINI, 2000 e VALERIANO et al., 2001), foram disponibilizados mapas de precipitação pluvial e temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo para geoprocessamento na escala 1:1.000.000. Estes mapas, gerados com técnicas de interpolação e regressão, foram estruturados com a resolução aproximada de 1km, adequados à escala 1:1.000.000, para estudo do Estado como um todo. Os procedimentos desenvolvidos mostraram-se capazes de contornar os principais problemas de interpolação dos dados de pluviometria, e os mapas de temperatura foram baseados na imagem de altimetria oriundos de sensoriamento remoto (RADARSAT).

Outra fonte potencial de dados topográficos em escala estadual (ao lado da imagem RADARSAT) é a base digital de cartas 1:250.000. Variáveis topográficas de interesse no zoneamento agroclimático (declividade, por exemplo) não podem ser determinadas sob escalas muito generalizadas, requerendo, portanto, estimativas detalhadas com generalizações posteriores (VALERIANO, 1999).

2.2 Dados espacializados

Em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), cada aspecto do mundo real retratado pode ser representado em um Plano de Informação (PI) distinto, em que todo o espaço estudado está caracterizado. Portanto, para uma mesma área, pode-se ter, por exemplo, o PI da rede de drenagem, PI da topografia, PI da malha viária, PI da imagem de satélite, etc., caracterizando o modelo daquele local. O desdobramento da paisagem real de uma dada área está representado na ***Figura 1***.

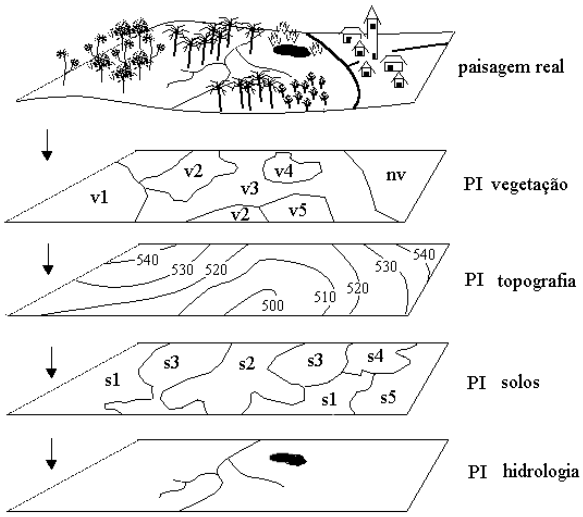


Figura 1 – Desdobramento da paisagem em Planos de Informação (PI).

Fonte: VALERIANO (1999)

As bases de dados espacializados têm uma série de características que as tornam distintas daquelas empregadas em sistemas de informação desenvolvidos para outras aplicações. Três componentes caracterizam os dados geográficos: sua posição, atributos ou propriedades e o tempo ou dinâmica (VALENZUELA, 1991). A dinâmica do dado caracteriza o período de validade do banco de dados estudados, sua data de observação e a resolução temporal ou freqüência para o caso de dados cíclicos. Há dados que são considerados perenes, como a topografia e formação geológica, cujos períodos são longos demais para serem considerados finitos. Por outro lado, dados de sensores orbitais relativos à cobertura vegetal, por exemplo, necessitam da data de obtenção como condição para sua interpretação.

Os atributos estão entre os dados tabulares associados, uma vez que não representam por si informações de posição. Os valores dos atributos são aqueles obtidos através de medições e armazenados no banco de dados. Os dados de atributos podem ser classificados em nominais, ordinais, intervalos e proporcionais (JONES, 1987). Os atributos dos dados primários tratados em geoprocessamento são em maioria nominais (muito utilizado em operações lógicas) e proporcionais (operações matemáticas), havendo ainda o uso de atributos de intervalos e em dados secundários, como índices e variáveis sintéticas.

Os dados espaciais podem ser de quatro tipos: pontuais, lineares, poligonais e superfícies contínuas. Pontos são toda entidade terrestre cuja descrição requer apenas

um par (x,y) de coordenadas. Um conjunto de pares (x,y) descrevendo uma linha contínua é chamada de arco e os arcos formam as feições lineares. Portanto, os dados lineares são formados por inúmeros segmentos retos definidos por pares de coordenadas (x,y), concatenados entre si. Dados lineares podem ser ramificados, tais como uma malha viária ou uma rede de drenagem. Polígonos são áreas delimitadas, dentro das quais há uma homogeneidade de um ou mais atributos que a caracterizam. São utilizados com freqüência em geoprocessamento de dados do meio físico tais como tipo de solo, vegetação, formação geológica e estrutura fundiária.

As superfícies contínuas representam a variação de uma dada variável em função da posição do ponto considerado, o que resulta numa série de dados do tipo (x,y,z). Este conjunto é denominado de modelo numérico do terreno (MNT), podendo-se exemplificar os dados de chuva, temperatura, densidade populacional e, mais comumente, dados de elevação. A superfície contínua dos dados de cota ou elevação de uma área é denominada modelo digital de elevação (MDE). Poderemos empregar no presente trabalho a expressão MNT para qualquer atributo numérico com variação contínua ao longo do espaço geográfico, referindo-nos portanto a MNT de cotas, MNT de precipitação pluvial, MNT de declividade, etc.

2.3 Tipos de dados

A entrada de dados que irá alimentar o sistema é uma etapa que requer cuidados especiais por ser a base de todos os processamentos e alicerce do projeto, além de determinar às vezes cerca de 75% do tempo ao trabalho.

A distribuição espacial representada por pontos, linhas, áreas e modelados podem ser organizadas em duas estruturas básicas digitais: raster ou matricial e vetor.

Segundo SILVA (1999) o dado vetorial é a representação gráfica do mundo real através de sistemas de coordenadas xy. O dado raster ou matricial refere-se a representação gráfica do mundo real através de pixels (picture element) ou células, com forma poligonal regular, definidas pelas posições em relação as colunas e linhas de uma malha. Generalizando pode-se dizer que o dado raster representa o que ocorre em todos os lugares e dado vetorial onde determinado fenômeno ocorre (localização de objetos).

VALENZUELA (1991) define dado vetorial por um par de coordenadas e complementa que essa estrutura pode ser associada às direções criando mapas de fluxos, crescimentos etc. O mesmo autor também diz que o uso vetorial é especificado na posição dos pontos, linhas e polígonos representando a conceituação da realidade. A premissa fundamental de um modelo vetorial é o ponto. Objetos são criados pela conexão de pontos e arranjamentos de linhas. Na junção das linhas temos nós configurando-os em arcos e segmentos. A topologia usada quando as linhas os arcos e nós configuram o polígono associa o mapeamento a uma tabela, descrevendo os fenômenos da área.

A estrutura raster para VALENZUELA (1991) é uma organização celular simples. Informações com um único valor, como classes de uso da terra ou tipo de solo são geralmente usadas nessa estrutura. Cada célula do arquivo possui um valor em diferentes atributos armazenando separadamente como ilustrado na ***Figura 2.***

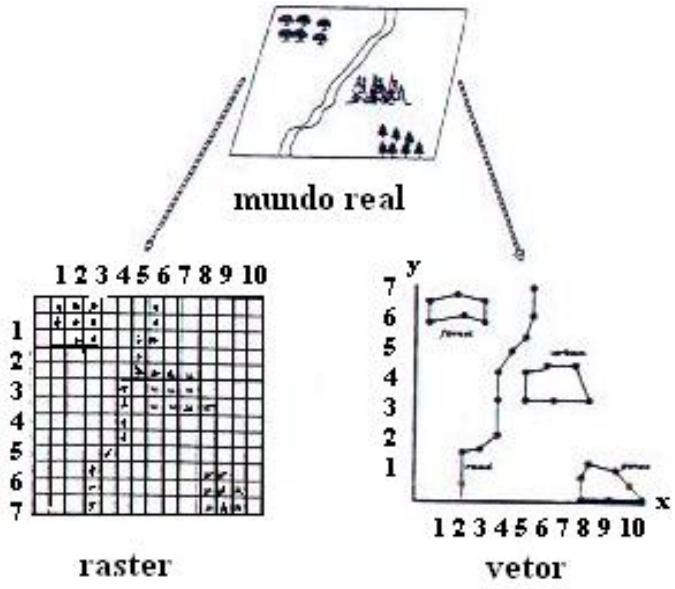


Figura 2 - Representação da estrutura raster e vetorial (VALENZUELA, 1991).

Para as duas estruturas existe um uso mais adequado segundo a finalidade do mapeamento, conforme é apontado no ***Quadro 1***.

Quadro 1- Vantagens e desvantagens dos modelos raster e vetorial

Vantagens do modelo raster	**Vantagens do modelo vetorial**
Os dados possuem uma estrutura simples. Operações de sobreposição são facilmente implementadas. Altas variabilidades espaciais são eficientemente representadas. Permite operações matemáticas com precisão Operações de modelagem e simulação são facilitadas	Possui uma estrutura de dados compacta. Permite uma codificação da topologia de forma eficaz, como resultado as análises de rede são facilmente implementadas. É recomendado para gráficos que devam se aproximar dos desenhos feitos à mão.
Desvantagens do modelo raster	**Desvantagens do modelo vetorial**
A estrutura dos dados ocupa muito espaço de memória. As relações topológicas são difíceis de serem representadas. O produto final pode não ser esteticamente agradável.	A estruturação dos dados é complexa. Operações de sobreposição são difíceis de serem implementadas. A representação de alta variabilidade espacial não é eficaz

Fonte**:** SILVA, 1999.

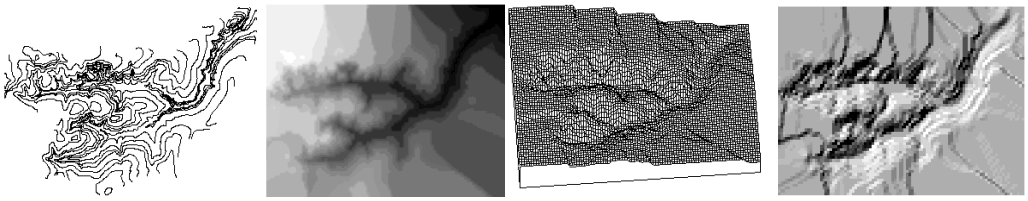
2.4 Funções de SIG

As funções de SIG permitem a execução de operações de suporte ao gerenciamento de dados, atuando de acordo com o fluxo de operações determinadas pelo operador. Segundo a divisão funcional apresentada por VALENZUELA (1991), as operações aplicadas no processamento principal podem ser agrupadas em quatro grupos: busca de informações; sobreposição; operações de vizinhança; e operações de conectividade. Apenas no primeiro grupo podemos ter operações sem caráter geográfico, embora dados espacializados sejam igualmente passíveis de busca de informações.

Nas operações de sobreposição, vizinhança e conectividade, a presença de dados georreferenciados é obrigatória. Algumas operações de sobreposição, as mais rudimentares, eram feitas antes do advento dos SIG, em mesas de luz. Entretanto, a maioria das operações de sobreposição e as de vizinhança e conectividade somente foram desenvolvidas e aplicadas sob a perspectiva de utilização de um SIG.

Visualização - A percepção visual humana permite o rápido entendimento de complexas relações espaciais, enquanto estas se apresentariam incompreensíveis se fossem representadas por tabelas numéricas (ALVES, 1990). Os SIG exploram a

capacidade gráfica das plataformas computacionais para visualização, através de monitores de vídeo ou outros periféricos como impressoras coloridas. A visualização gráfica é necessária desde as análises prévias dos dados até a obtenção e apresentação dos resultados finais. Geralmente, o processo de visualização dos produtos de geoprocessamento requer, para cada plano de informação visível, a escolha da forma de apresentação (mapas, superfície, perspectiva, imagem, etc.), da escala, da resolução geométrica, assim como a escolha de parâmetros necessários para a codificação da informação, como escala e intervalos de cores. A representação de um mesmo conjunto de dados de cota está apresentado em quatro formas diferentes de visualização na ***Figura 3.***



(a) (b) (c) (d)

Figura 3 – Visualização da topografia sob quatro formas diferentes: (a) curvas de nível; (b) níveis de cinza; (c) perspectiva; e (d) aspecto.

Para o monitoramento visual dos produtos obtidos ao longo do geoprocessamento, o SIG permite a sobreposição de diferentes dados espacializados na tela. Este simples recurso permite, entre outras coisas, que o usuário perceba relações espaciais existentes entre diversos atributos do meio físico.

Busca de informações (consulta, pesquisa, ou *query*) - A busca de informações é uma utilidade básica de sistemas lidando com gerenciamento de dados. O acesso às informações do banco de dados é coordenado através de sua estrutura, sendo mais ou menos automático em função da organização dos dados e o tipo de busca que está sendo feito. A busca pode ser aplicada indistintamente em dados tabulares e espaciais. Nesta função se enquadram, além da pesquisa ou busca trivial, as funções de classificação, medidas, cálculos e associação de atributos. Trata-se de um procedimento de procura por todo elemento que estiver atendendo a um determinado critério. O resultado é representado na visualização através do realce dos elementos selecionados, sejam como registros no banco de dados tabulares ou objetos no mapa

associado. Em geral, a operação de busca perfaz a seleção do objeto estabelecendo também o acesso automático aos seus demais atributos (os outros campos do Banco de Dados). A operação de localização, por exemplo, de glebas de uma fazenda que estão sobre certo tipo de solo e que estiveram nos dois últimos anos sem aplicação de defensivos parece simples a princípio, porém, diante de uma grande quantidade de dados, a detecção automática torna-se dependente de uma estruturação clara e funcional das informações.

Classificação (fatiamento ou reclassificação) - A operação de classificação, ou fatiamento, reduz a complexidade da variação de um dado, agrupando-o em classes discretas para facilitar a descrição e o mapeamento. Pode-se gerar objetos a partir da classificação de dados de intensidade, resultando em segmentos de área com determinadas faixas de variação, como é feito diretamente para declividade, quando obtida através da utilização de ábacos (DE BIASI, 1970), ou indiretamente, quando se segmentam áreas por reclassificação (fatiamento) em função de classes de declividade.

A operação conhecida por reclassificação ou fatiamento é o processo de alterar o agrupamento de um sistema de classificação para outro. A reclassificação de um mapa é feita com base em um ou mais atributos especificados, associados aos objetos ou às intensidades mapeadas. A reclassificação de um mapa, ou qualquer conjunto dentro dos dados tabulares, pode igualmente ser feita analisando-se combinadamente vários atributos diferentes, desde que estes estejam estruturados adequadamente (VALENZUELA, 1991; JONES, 1987).

Sobreposição (*overlay*) - As operações de sobreposição combinam dados espacializados entre diferentes planos de informação, de ponto a ponto do plano de georreferência. Está fundamentada nos mesmos princípios que os das técnicas de sobreposição de transparências em mesas de luz. Entretanto, os recursos disponibilizados pela tecnologia digital fizeram da sobreposição em SIG uma técnica de grande potencial de aplicação. Estes avanços alteraram qualitativamente sua função, de simples recurso de visualização para sofisticadas manipulações de dados. As operações executadas através de sobreposição podem ser lógicas ou matemáticas, conforme explicitado a seguir.

As operações lógicas (*e/ou, sim/não, maior/menor, igual/diferente* e *se*) entre planos georreferenciados de informação envolvem freqüentemente feições do tipo objeto, as quais permitem o registro de atributos qualitativos e quantitativos (JONES, 1987). Estas operações podem ser feitas diretamente sobre as classes das feições mapeadas ou sobre os atributos a elas associados através do banco de dados. Podem-se citar sistemas de classificação utilitária de terras que são uma aplicação direta dos operadores *e/ou* entre os planos de classes de declividade e de classes de solo. A sobreposição de planos através de operações lógicas pode também servir de apoio para o fluxo de outras manipulações, não servindo diretamente para o levantamento de informações. Por exemplo, em um projeto de planejamento agrícola com compromisso conservacionista, o plano resultante pode ser elaborado em função de condições iniciais estabelecidas tais como:

- se (declividade > nível crítico) ou (uso atual = floresta) : fazer (uso planejado = floresta)

- se não: seguir o fluxo normal de elaboração do planejamento.

As combinações lógicas entre os planos podem também exercer controle sobre operações matemáticas, associando-se dados qualitativos a atributos numéricos. A feição pode ser descrita como uma condição funcional para o fenômeno ou variável em estudo. Por exemplo, diferentes tipos (caráter lógico) de terreno implicam em custos (caráter numérico) variados a serem aplicados na análise de uma operação de máquina agrícola. O inverso também ocorre, quando se aplicam chaves multivariadas de classificação a atributos numéricos, obtendo-se classes qualitativas baseadas em atributos numéricos (as classes de declividade A, B, C, por exemplo).

As operações matemáticas entre planos permitem combinações variadas entre quaisquer tipos de feições, desde que tenham atributos quantitativos. Constitui um módulo de bastante utilidade para a integração de dados sob abordagem numérica e permite que modelos sejam calculados para uma área, com seus parâmetros e resultados espacializados.

Vizinhança - As funções de vizinhança operam geralmente movendo-se uma janela móvel através de um plano de informação, que em geral se apresenta na forma grade,

representando a intensidade de uma feição de campo (MNT). A cada posição da janela, são feitas manipulações entre os valores das células vizinhas contidas nessa janela, e o seu resultado é atribuído à célula central. Em geral, as janelas são compostas de 3x3 células (linhas x colunas), ou 5x5, 7x7 e assim por diante. As operações de vizinhança são aplicadas em filtros espaciais, derivação e determinação de vetores de orientação e tendência locais.

Os filtros espaciais são empregados com freqüência no tratamento de imagens. Convenientemente, fazem parte do rol de funções prontamente oferecidas por SIG, bastando o usuário especificar o tipo de filtragem (eventualmente podendo definir parâmetros) e o plano de informação a ser filtrado. Ocasionalmente, após operações de sobreposição, torna-se oportuno a aplicação de filtros de suavização (filtros média, mediana ou moda) em planos de feições objeto, eliminando assim o excesso de polígonos muito pequenos. Outros filtros disponíveis nos sistemas de tratamento de dados espacializados são os filtros média, moda, mediana, máximo, mínimo, passa-baixa, passa-alta, de borda, direcionais, estatísticos, filtros de intensidade e direção de gradiente.

O maior número de aplicações existentes para os filtros recaem sobre dados de intensidade (MORETTI et al., 1989). Sua maior potencialidade está na capacidade de evidenciar e preparar informações imperceptíveis nos dados do plano de informação original. Por exemplo, a filtragem passa-alta direcional detecta mudanças de alta freqüência espacial (rugosidade) numa direção especificada. Quando aplicada sobre o MNT de cotas, permite revelar alinhamentos no relevo que possuem significado para o especialista em geologia. Quando aplicados sem especificação de direção em uma imagem de satélite, podem ser utilizados para evidenciar feições lineares tais como estradas, rios e limites entre áreas homogêneas.

Essas operações características do SIG são usadas para espacializar dados obtidos através de coletas no campo (granulometria, fertilidade etc.) mapas digitalizados a partir de dados analógicos (curva de nível, altimetria), dados numéricos (radar – altimetria) ou dados digitais (hidrografia, vegetação, morfologia etc). Para efetuar tarefas de espacialização de dados numéricos usam-se modelos que determinarão a representatividade de alguma questão ligada ao mapeamento.

2.5 Zoneamento

Os zoneamentos são realizados para gerenciar áreas com potencialidades ou limitações para determinados fatores segundo as condições físicas, econômicas e sociais. Os primeiros zoneamentos paulistas foram organizados e publicados na década de 60. Eram compostos de extensos sistemas que por meio de um banco de dados eram atribuídos vários temas, que no caso da agricultura eram tipos diferentes de culturas. Todo o arranjamento era feito de forma analógica e mesmo com propostas de atualizações, ficava muito complicada a manutenção de um sistema que possuía um número grande de dados.

Para melhor explicitar a questão da atualização e da própria manutenção dos bancos de dados proposta no zoneamento das culturas no Estado de São Paulo, pode-se citar o "Plano Abreu Sodré de Reorganização da Cafeicultura no Estado de São Paulo" elaborado por MORAES et al. (1969). Esse projeto estabelecia critérios para a determinação de zonas ecológicas favoráveis para o desenvolvimento da cafeicultura. Era priorizado o clima favorável, a região de bebida fina (exigência de mercado externo) e boas condições econômicas. Dentro dessas premissas seguiram-se duas diretrizes: 1. regiões que deveriam ser eliminadas sumariamente do programa por não possuir o mínimo de condições favoráveis, tendo como características fatores de déficit hídrico superior a 150 mm, temperaturas médias anuais acima de 23 ºC e regiões que produzam qualidade de bebida *Rio*; 2. dentro das regiões selecionadas eleição de áreas prioritárias. Na ***Figura 4*** é mostrado a distribuição da produção da qualidade de bebida.

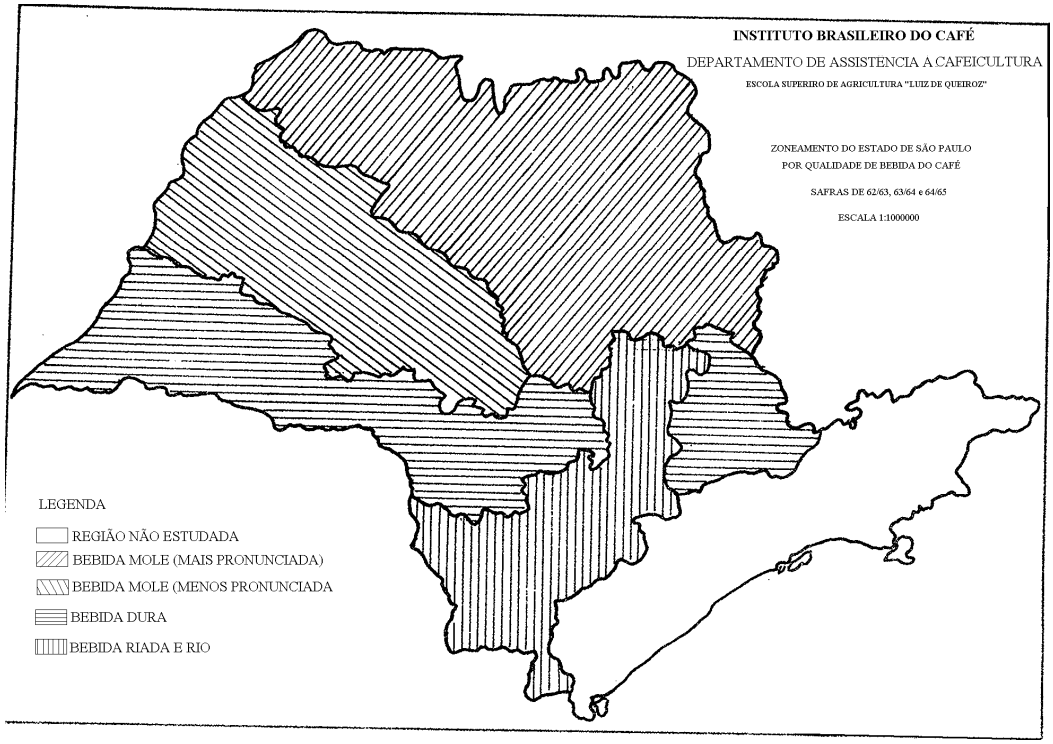


Figura 4 - Mapa da distribuição da qualidade de bebida do café (MORAES et al., 1969).

Foram produzidos quatro mapas os quais determinavam:1. a viabilidade climática para o cafeeiro (***Figura 5***); 2. a distribuição da cultura cafeeira junto com os grandes grupos de solos (solos podzolizados Lins e Marília, Latossolo Roxo e Terra Roxa estruturada, Podzólico Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo (***Figura 6***), 3. o zoneamento por qualidade de bebida mostrado na ***Figura 4***, 4. o zoneamento final com as classes de restrições ***(Figura 7)***. O mapa de zoneamento final foi publicado com três classes das quais distinguiam as zonas favoráveis, favoráveis com restrições e com fatores limitantes.

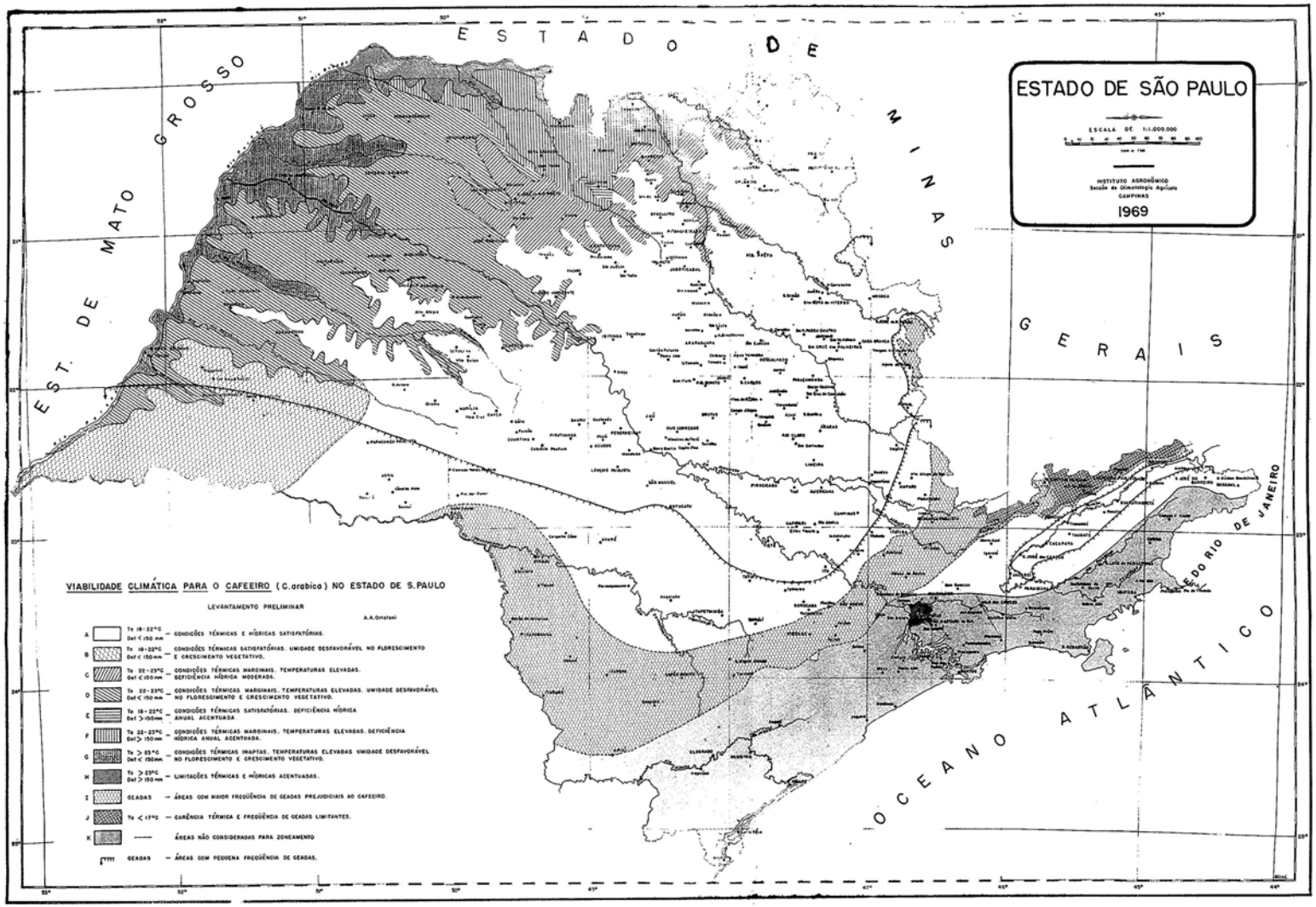


Figura 34: Sobreposição dos mapas de Aptidão Climática (2003) e Viabilidade Climática para o cafeeiro (1969).

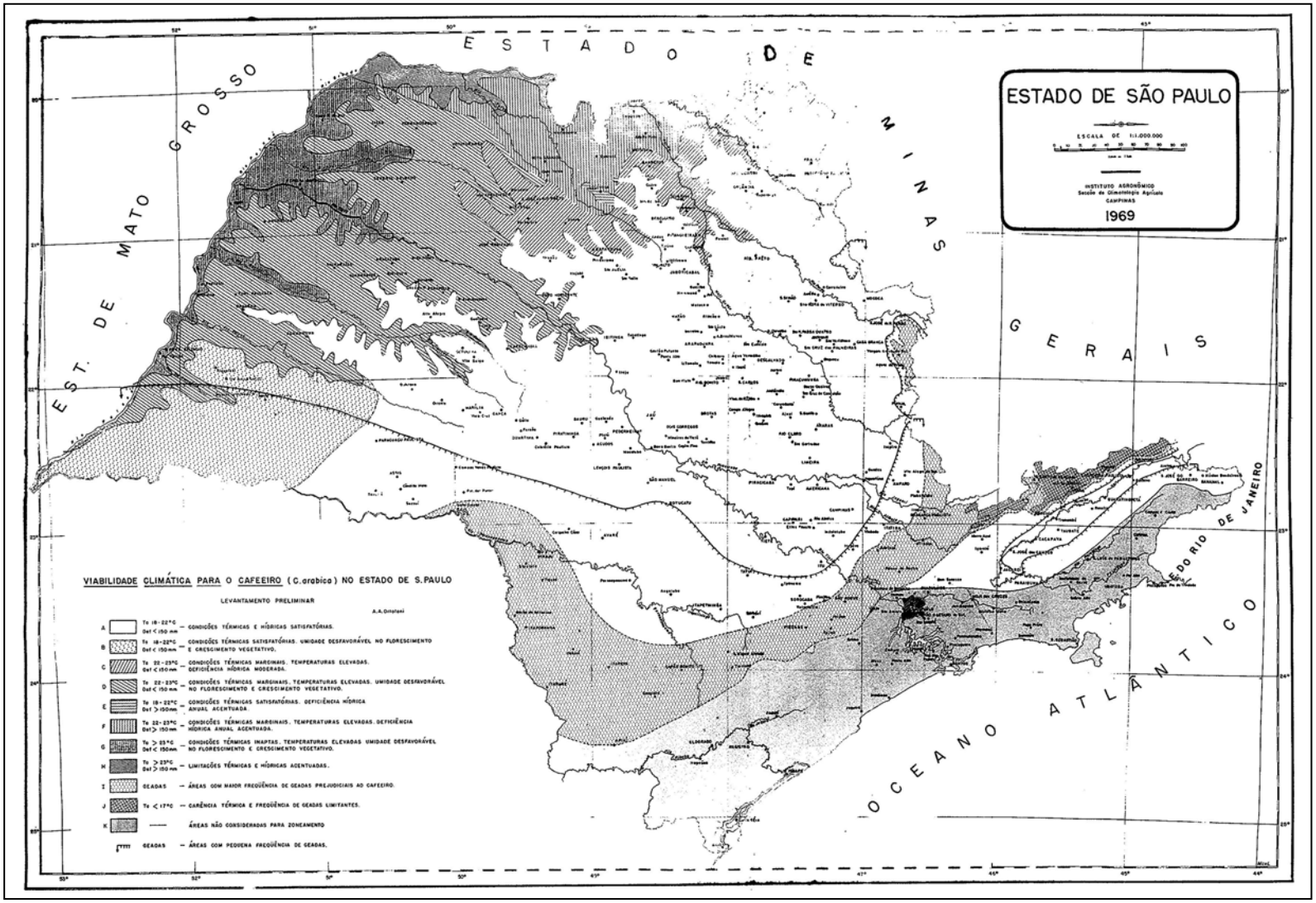
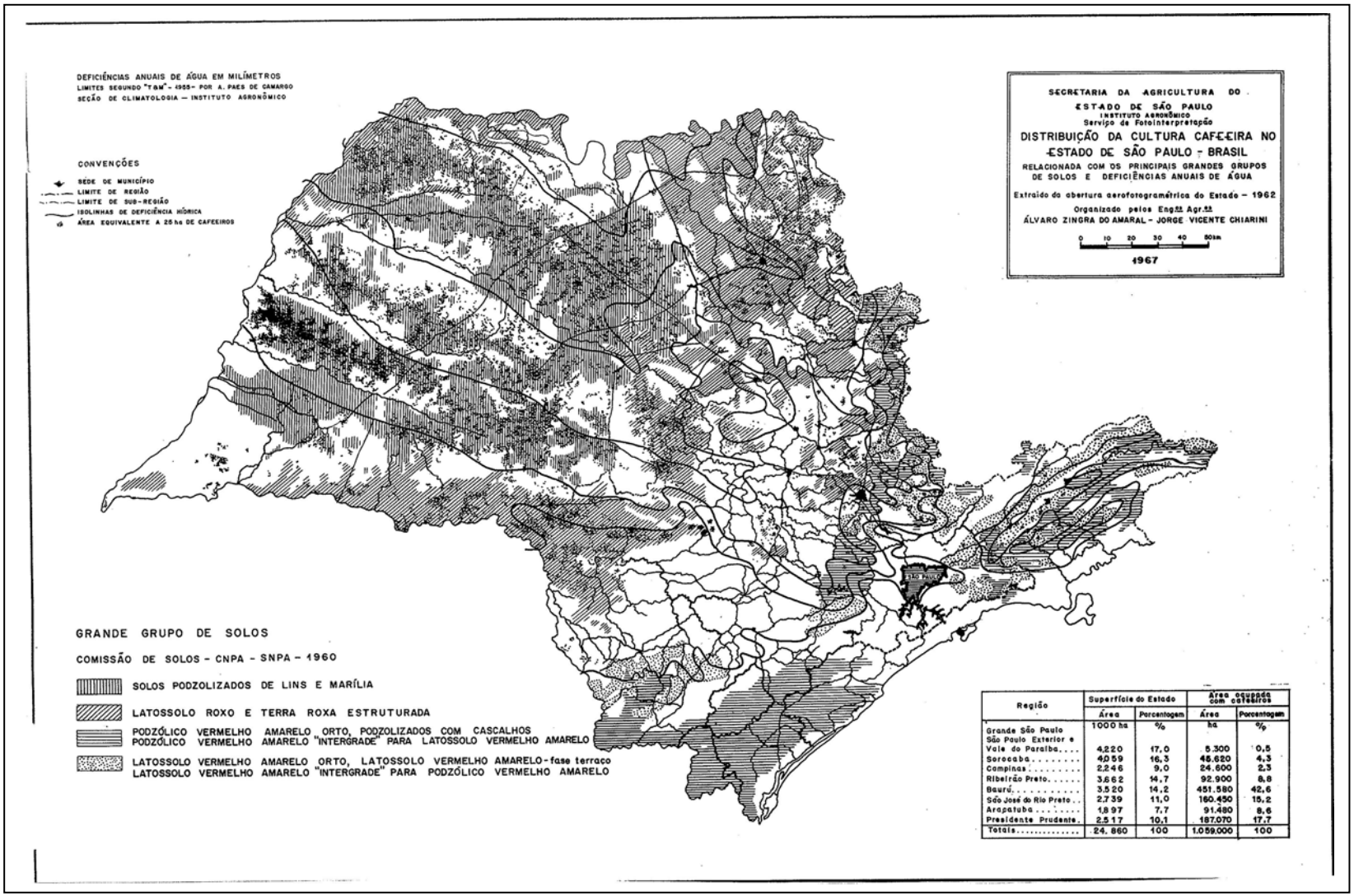


Figura 5: Viabilidade Climática para o cafeeiro.



Região	Superfície do Estado		Área ocupada com cafeeiros	
	Área	Porcentagem	Área	Porcentagem
	1000 ha	%	ha	%
Grande São Paulo				
São Paulo Exterior e Vale do Paraíba	4.220	17,0	5.300	0,5
Sorocaba	4.059	16,3	46.620	4,3
Campinas	2.246	9,0	24.600	2,3
Ribeirão Preto	3.662	14,7	92.900	8,8
Baurú	3.520	14,2	451.580	42,6
São José do Rio Preto	2.739	11,0	160.450	15,2
Araçatuba	1.897	7,7	91.480	8,6
Presidente Prudente	2.517	10,1	187.070	17,7
Totais	24.860	100	1.059.000	100

Figura 6: Distribuição da cultura cafeeira junto com os grandes grupos de solos

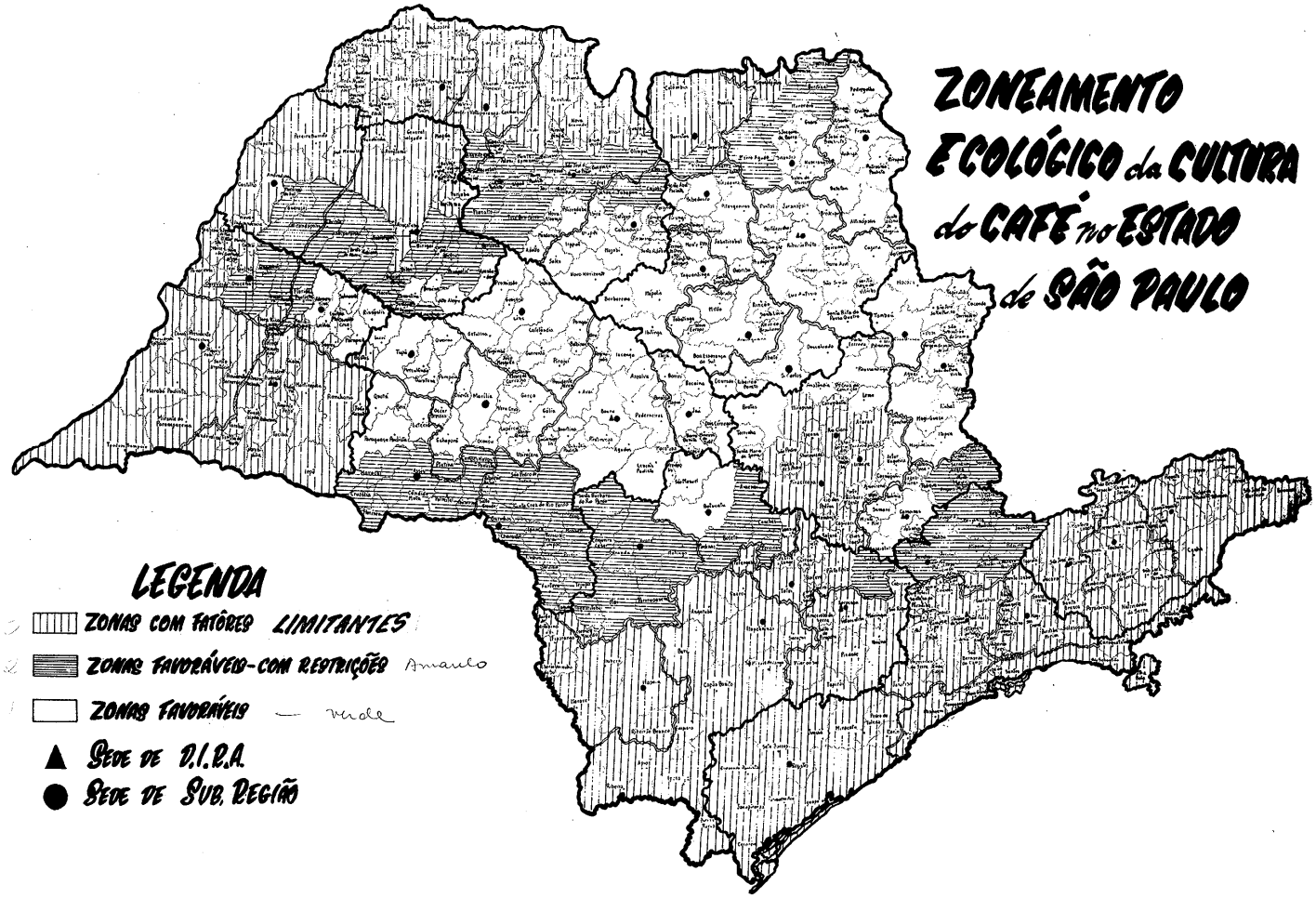


Figura 7: Zoneamento Final (1974)

Esse trabalho foi pioneiro no planejamento agrícola no Brasil, sem uma experiência prática anterior. Foram envolvidas várias instituições de pesquisa, extensão e financeira relevante ao caráter de integração, principalmente na coleta de dados para alimentar a demanda operacional do sistema. Os mapas foram sistematizados analogicamente a partir de tabelas e estudos da distribuição dos fatores condicionantes do cultivo do café.

CAMARGO et al. (1974) e CHIARINI et al. (1977) desenvolveram o "*Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*" volume I e II, atualizando a metodologia a fim de descrever os fatores limitantes não só do cafeeiro, mas de outras vinte e quatro outras culturas. Empregava-se o mesmo banco de dados com temas edafo-climáticos inserindo-se o ciclo fenológico de cada cultura. As condições climáticas aliadas ao substrato físico caracterizavam uma diferenciação no desenvolvimento e produção das plantas condicionadas por diferentes ecossistemas. Esses elementos influenciam as épocas de colheita, seca e armazenamento de produtos. Ainda no mesmo estudo é dito que a finalidade de um zoneamento ecológico é caracterizar e cartografar zonas de uma região extensa, com distintos potenciais ao desenvolvimento das plantas, indicando áreas com aptidão, marginalidade e inaptidão edafo-climática e fitossanitária.

A metodologia se baseou nas exigências das culturas sem detalhamentos regionais. Os trabalhos de zoneamento eram organizados com o intuito de atualizações periódicas. No entanto sabe-se que foram projetos únicos, talvez pela dificuldade ou onerosidade da atualização dos bancos de dados e sua espacialização que se expressavam de forma analógica.

Com a evolução dos sistemas computacionais esse problema foi parcialmente resolvido ou pelo menos minimizado. A questão digital possibilitava não somente a facilidade de manuseio na inserção dos dados no sistema das informações, mas também a rapidez na atualização e rapidez na espacialização.

Estudos recentes no Estado do Rio Grande do Sul utilizaram um Banco de dados para diferentes culturas, desenvolvendo um projeto de potencialidade climática para soja (CHAGAS et al., 2000). Nesse trabalho foram utilizados mapas exploratórios contidos no Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura e do

abastecimento do mesmo Estado. Essas questões foram tratadas utilizando programas e técnicas de geoprocessamento.

Com o mesmo objetivo de complementação e atualização a primeira edição do Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina desenvolvido por PANDOLFO et al. (2001) reuniu informações de 506 cartas em um documento digital, a fim de caracterizar as peculiaridades climáticas, bem como a disponibilização a diferentes públicos.

PINTO et al. (2001) criaram cenários a partir do Zoneamento Climático do Café nos Estados de São Paulo e Goiás, em que usava o cálculo da deficiência hídrica, probabilidade de geadas e temperatura média anual em uma grade regular. Esse procedimento gerou o Zoneamento de Risco Climático, em que as simulações geraram novos mapas com a soma de valores de temperaturas de 1ºC, 3ºC e 5º, com o intuito de acompanhar os cenários de temperaturas futuras.

No Estado de Minas Gerais EVANGELISTA et al. (2002) usaram um banco de dados para fazer o Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café, basicamente com as limitações térmicas e hídricas, alcançando respostas satisfatórias em questões de planejamento quanto à produção dessa cultura.

Esses trabalhos com banco de dados digitais são alimentados periodicamente e usados em diferentes formas de trabalho. Um único sistema pode gerenciar vários tipos de culturas com a adição de apenas uma coluna referente aos critérios de cultivo,. É importante, porém, que esses trabalhos sejam disponibilizados para que outros sejam desenvolvidos e mais informações sejam adicionadas, gerando assim um constante enriquecimento e conseqüente complementação de informações.

2.6 Aptidão ecológica para a cultura do café

É amplamente citado na literatura que os cafeeiros da espécie arábica vegetam espontaneamente nos altiplanos da Etiópia entre 1500mm a 1900mm de altitude, a uma temperatura de 17ºC a 20ºC, com chuvas anuais de 1500mm a 2000mm.

Há algumas exigências para que a cafeicultura seja melhor aproveitada conforme os parâmetros climáticos e edáficos.

Segundo CAMARGO et al. (1977) em relação aos limites climáticos, há uma faixa de otimização que se dispõe segundo a temperatura média e deficiência hídrica. São 12 faixas distribuídas em classes que representam terras aptas, marginais e inaptas.

Para a aptidão edáfica primeiramente se descreve o sistema radicular do café que se concentra na maior parte nos primeiros 80 cm, mas pode chegar nos 190cm de profundidade (FRANCO & INFORZATO, 1946). Solos mais profundos possibilitam um melhor desenvolvimento dos sistemas radiculares dos cafezais tendo restrição no contato com a rocha e camadas mais endurecidas ou cimentadas.

O suprimento de água e ar é em função da capacidade do solo em armazenamento, infiltração e distribuição dos mesmos. Os cafeeiros possuem limites de disponibilidade de água de 23 a 15 atmosferas (CHIARINI, 1977). O oxigênio por sua vez depende do ritmo de desenvolvimento de cada cultura.

Para CHIARINI et al. (1977), tanto o suprimento de água como de ar estão relacionados com a textura do solo e a natureza do arranjamento das partículas. O conceito de solo ideal estabelece que 50% de seu corpo deverá ser constituído por espaços vazios ou porosidade, 45% de material mineral e os restantes de matéria orgânica. A metade deste espaço vazio deve ser de macroporos e a outra de microporos, responsáveis respectivamente pela perlocação e circulação do ar e armazenamento de água no perfil. Com relação às frações grosseiras do solo não é recomendável o cultivo do café para área com mais de 15% a 20% ou com menos de 20% de argila e até 40 cm ou 50 cm de profundidade.

Quanto às características térmicas do solo, FRANCO & INFORZATO, (1946) verificaram que temperaturas iguais ou superior a 38ºC causam a morte dos cafeeiros; temperaturas entre 23ºC e 28ºC são consideradas ótimas e temperatura inferior a 20ºC causam um crescimento reduzido.

Observando cada fator individualmente, podemos selecionar classes de aptidão edáfica, térmica e pluviométrica, por exemplo, quais devem ser combinadas seguindo uma regra de restrição máxima entre os diferentes fatores (lei do mínimo). Há estudos, no entanto, que tratam os fatores combinadamente, como no caso de infestação por patógenos e pragas agrícolas, que geralmente dependem de mais de uma condição. Na forma simples, em que os fatores são associados à aptidão em

paralelo e pela lei do mínimo que no ***Quadro 3*** representa uma tentativa de compatibilização das variáveis edáficas consideradas nos zoneamentos agrícolas para a cultura do café. Os dados retirados do mapeamento de solos permitem que tal caracterização seja feita em alguns casos de maneira satisfatória quando se manipula uma característica para cada classe. Em outros atributos seria necessário uma associação de tabelas ou caracteres com as classes de solo para se formar Planos de Informações distintos e que se apresentassem com fatores de ocorrência, e portanto, de limitação para as culturas. A fertilidade e a pedregosidade é um exemplo de que pode ocorrer diferentes formas de apresentação desses atributos em um mesmo tipo de solo.

CHIARINI et al. (1977), estabeleceram que as classes de aptidão edáfica ficariam em torno dos atributos de profundidade, fertilidade, textura, relevo e o fator de erodibilidade. No ***Quadro 2 é*** resumido as seis classes para o zoneamento do café.

Quadro 2 - Atributos edáficos usados no Zoneamento do café feito em 1974

classe	fertilidade	relevo
apta 1	média alta	plano ondulado
apta 2	média alta	ondulado
apta 3	media alta	forte ondulado
apta com restrições	moderada	plano ondulado
restrita	moderada	plano ondulado
inapta	fortes limitações quanto as características físicas, químicas ou de declividade de solo	

fonte: CHIARINI et al. (1977)

Segundo a literatura os solos mais adequados ao cultivo do cafeeiro são os profundos, porosos com boa fertilidade e bem drenados. A textura mais favorável é a média, podendo apresentar problemas quando o teor de argila for menor que 20%. Na formação do banco de dados digital, os critérios mais favoráveis ao zoneamento foram os que estão descritos no ***Quadro 3.***

Quadro 3– Critérios de aptidão para variáveis de solo

nome	profundidade (cm)	classe textural	Observação
Cambissolo Húmico	<100		contato lítico
Cambissolo Háplico	<100		contato lítico
Espodossolos Ferrocábicos	200 *	areia ou areia franca	
Gleissolos Melânicos	Raso		ambiente fluvial
Gleissolos Háplicos	Raso		ambiente fluvial
Gleissolos Sálicos	Raso		ambiente fluvial
Latossolos Amarelos	>150	areia ou areia franca	
Latossolos Brunos	>150	areia ou areia franca	
Latossolos Vermelhos	>150	areia ou areia franca	
Latossolo Vermelho-Amarelos	>150	areia ou areia franca	
Chernossolos Argilúvicos	200 *		
Nitossolos Vermelhos	100		
Organossolos	30		
Argissolos Vermelhos	150-200		
Argissolos Vermelhos-Amarelos	150-200	areia ou areia franca	
Neossolos Litólicos	40 *	argilosa *	cascalhentos
Neossolos Quartzarênicos	200 *		bem drenados
Neossolos Flúvicos	40 *	argilosa *	ambiente fluvial
Planossolos Háplicos	Raso	areia ou areia franca	

Fonte: Os dados do Quadro foram organizados como características gerais de cada classe de solo tendo como fonte principal PRADO (2001) e * GOEDERT (1987).

Como é observado no ***Quadro 3*** a classe textural não pode ser caracterizada para uma única classe de solo, havendo às vezes mais de uma característica dependendo de outros fatores da área em estudo. Para fazer o mapeamento de aptidão geral, o caráter edáfico que possibilitou melhor estruturação foi o profundidade efetiva dos solos, indicado no ***Quadro 3*** com todas as informações exigidas para formar a limitação para culturas.

Um manejo adequado dos solos para o café envolve um bom ambiente para o desenvolvimento das raízes, a manutenção da fertilidade e a prevenção da erosão.

Quanto as limitações climáticas CAMARGO et al. (1977) estabeleceram que a temperatura mais indicada para um bom desenvolvimento do café é entre os limites de 18ºC – 22ºC e nas áreas próximas dos trópicos entre 19ºC – 21ºC. O cafeeiro é pouco tolerante ao frio e a incidência freqüente de geadas provoca danos à planta (latitudes 22º e 23º Sul). Por outro lado, regiões onde freqüentemente ocorrem temperaturas acima de 30ºC, a produtividade do café a pleno sol é prejudicada,

principalmente na fase de florescimento, pois os botões não florescem e não se produz frutos. Regiões de médias anuais de 22ºC apresentam mínimo de horas diárias com temperatura acima de 30ºC ficando essa como faixa limite para o cultivo do café.

Na precipitação e disponibilidade hídrica, estabelecer limites excelentes para o cultivo está ligado à distribuição anual de chuvas (um período longo sem chuva devendo coincidir com o final da maturação aliado à deficiência hídrica que não pode chegar a prejudicar o cafeeiro nessa fase), condição de energia térmica e evapotranspiração. No ***Quadro 4*** é resumido os limites estudados nesse trabalho para projeção do PI.

Quadro 4 - Classes de aptidão climática para o café segundo CAMARGO et al.(1977)

Classes	Média anual de temp.	Média anual de Deficiência hidr.
A – apta	18ºC a 22ºC	150 mm
B – apta	22ºC a 23ºC	150 mm
C - apta a marginal	18ºC a 22ºC	Nula
D – marginal	23ºC a 23,5ºC	<150 mm
E – marginal	22ºC a 23ºC	< 150 mm
F – marginal-restrita	17ºC a 18ºC	Nula
G – marginal-restrita	18ºC a 19ºC	Nula
H – marginal-inapta	23ºC a 23,5ºC	<150 mm
J- marginal-inapta	23ºC a 23,5ºC	< 150 mm
K – inapta	geadas	
L – inapta		Índice hídrico excessivo

Fonte: CAMARGO et al. (1977).

2.7 Suporte ao gerenciamento

No item 2.4 foram descritas as principais funções desempenhadas pelos SIG. Um sistema de suporte ao gerenciamento deve oferecer, além destas funções, acesso a todo o conjunto de dados necessários às operações de análise e consulta que se fizerem necessárias. Entretanto, o cerne do sistema de suporte está na sua operação,

ou seja, a fase de análise sistêmica (RUGG, 1992). A análise sistêmica aborda o problema estabelecido e estrutura um modelo das relações entre as variáveis envolvidas, baseado na coleta e análise dos dados, para determinar os efeitos de várias estratégias de controle e de mudança sobre as metas e fazer prognósticos.

Antes da operação, pressupõe-se que o sistema esteja adequadamente suprido das informações necessárias ao seu funcionamento. A equipe dos especialistas envolvidos deve atuar na definição deste conjunto, indicando inclusive as especificações técnicas desejáveis (escala, precisão, tipo, unidades, etc.) Por sua vez, a especificação das informações deve advir do conhecimento de cada especialista sobre as variáveis condicionantes do problema proposto em relação a seu ponto de vista (BONHAM-CARTER, 1994). Na ***Figura 8*** é mostrado o funcionamento do sistema, caracterizando a inserção dos seus elementos no fluxo de atividades.

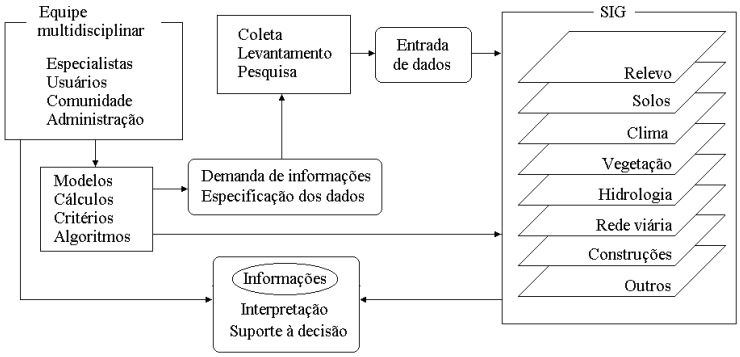


Figura 8 – Montagem e funcionamento de um banco de dados geográficos.

A segunda intervenção dos especialistas sobre o sistema deve ocorrer durante as análises sistêmicas, quando os fatores condicionantes são integrados de maneira estruturada do ponto de vista geográfico e funcional (BONHAM-CARTER, 1994). Nesta etapa, torna-se fundamental a utilização de modelos, algoritmos, regras de avaliação e decisão, criteriosamente calcados na experiência científica, na conveniência dos envolvidos e na estratégia gerencial sob estudo. O operador deve trabalhar, em ideal, acompanhado do especialista (ou do grupo de especialistas) interessado no processo. Se não, deverá ser cuidadosamente instruído por aqueles sobre cálculos e critérios aplicados aos dados. Finalmente, quando a informação gerada é apenas parte de uma análise multidisciplinar complexa, os resultados deste processo (mapas, posições ou atributos) devem ser avaliados em uma apreciação pela

equipe, de modo que os diferentes aspectos abordados forneçam uma interpretação sintética, de utilidade prática ao gerenciamento e à tomada de decisões.

2.8 Propagação de erros

Os SIG são usados para provimento de dados espaciais georreferenciados usados geralmente no suporte de decisões, fazendo o gerenciamento de recursos, planejamento urbano entre outros. Para isso é essencial que o produto gerado, no caso dos mapeamentos, sejam análises as mais próximas possíveis da realidade. Mapas e outros dados usados em SIG são obtidos muitas vezes através de modelos e mensurações (radargametria, fotogametria etc.) e inevitavelmente contém erros. A soma desses erros inerentes mais rotinas operacionais, podem propagar problemas no sistema. Talvez os tecnólogos dêem pouca importância a esse aspecto, e por isso seja pouco estudado. Apesar de ser impossível remover completamente os erros de um projeto, eles podem ser reduzidos a padrões aceitáveis.

VALENZUELA (1991) descreve quatro (4) tipos de erros que se entremeiam na acurácia e precisão: 1. operações de digitalização, erros de geometria e limitações cartográficas; 2. erros nos mapas fontes (técnicas de mapeamento diferentes causando às vezes diferenças na localização das linhas limites); 3. erros duplos para a rasterização dos dados poligonais; 4. propagação de erros em cruzamentos das camadas ou overlay.

Para haver um padrão de erro mínimo ou erro aceitável os processamentos devem se pautar nos critérios das normas cartográficas. Segundo essas normas há um Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, que é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos (www.concar.ibge.sp.br). São três classes que definem os trabalhos de interpolação de curvas de nível e sua correlação no campo: classes A, B, e C. A classe A tem um erro menor aumentado sucessivamente passando pela classe B e C, mas ainda no patamar do erro mínimo aceitável.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Detalhamento das atividades

Os objetivos gerais da pesquisa, preconizados na introdução deste trabalho, pressupõem a existência de objetivos específicos, de cuja realização depende o sucesso dos primeiros. Podemos desdobrar cada etapa da pesquisa em sub-etapas sucessivamente de modo a se individualizarem as atividades de trabalho. Em termos gerais, o trabalho se estrutura com base nas seguintes atividades:

a) Coleta de dados para processamento espacializado de informações de interesse potencial para zoneamentos edafo-climáticos de culturas agrícolas. Segundo CHIARINI et al. (1977), para organizar informações em um banco de dados dessa natureza é necessário os fatores térmicos e hídricos, topográficos e edáficos.

Os dados relativos aos fatores térmicos provieram de médias mensais de temperatura registradas em postos do DAEE –SP, juntamente com os dados de altimetria e latitude. Os dados de pluviometria foram obtidos da mesma origem. Dos elementos relativos à temperatura e precipitação são formados mapas de médias mensais e anuais e mapas de deficiência hídrica, correspondentes aos elementos que condicionam a aptidão climática. Como fonte dos dados topográficos, selecionou-se a imagem RADARSAT–1, disponibilizada na rede mundial de computadores até meados de 2000. Os dados de solos incluídos neste estudo foram obtidos a partir do levantamento de OLIVEIRA (1999).

b) Preparação de planos de informação: a imagem original da qual derivaram os dados de topografia (RADARSAT-1) apresentava pixels retangulares dificultando seu tratamento bem como a compatibilização com outros planos de informação. Após a seleção e corte da área de interesse, correspondente ao Estado de São Paulo, a georreferência da imagem foi refinada para a escala estadual, com correção geométrica e posterior verificação da precisão altimétrica.

Os planos de temperatura provieram de um arquivo tabular georreferenciado em que constam colunas com dados térmicos estimados de 378 postos do DAEE-SP e as respectivas coordenadas x,y. A espacialização dos dados foi calculada sobre o plano da topografia, a partir de equações de regressão das temperaturas médias

mensais em relação à altimetria e à latitude locais, previamente analisadas (VALERIANO & PICINI, 2000).

Para a precipitação pluvial, foram executadas interpolações, com técnicas de krigagem, em grades georreferenciadas com estrutura geométrica de uma imagem com coordenadas x -54º 00’ 00’’ y -26º 00’ 00’’, x -43º 00’ 00’’ -19º 00’00’’ de 2100 colunas por 1400 linhas (VALERIANO et al. 2002). A equação usada por VALERIANO & PICINI (2000) para a espacialização dos mapas de chuva foi:

$$\gamma(h) = \left(\sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \right) / 2N(h)$$

onde:

N(h) é o número de pares de valores $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ medidos, separados por um vetor h. A cada par estão associados, além do módulo de h, a diferença de valor do atributo medido e a direção do vetor h. O semivariograma apresenta-se em geral como um gráfico crescente, devido à provável semelhança entre pontos a menores distâncias. Ao semivariograma experimental, calculado a partir das observações, associam-se modelos teóricos de semivariogramas, definidos pelo tipo de modelo (linear, esférico, gaussiano, exponencial, potência) e pelos parâmetros numéricos efeito pepita, escala e alcance.

As informações pedológicas, publicadas em mapa analógico, ou impresso (OLIVEIRA, 1999), foram digitalizadas e este plano foi associado a um banco de dados contendo os atributos dos tipos de solos.

c) Operação do banco de dados: foram aplicadas regras de classificação para determinar áreas de diferentes aptidões para a cultura do café, com funções de SIG como fatiamento, sobreposição e operações tanto matemáticas como lógicas. Essas operações foram usadas nos planos de informação conforme as regras que definem a aptidão sob cada um dos diferentes temas.

3.2 Especificação dos dados utilizados

3.2.1 A área de estudo

O Estado de São Paulo localizado entre as coordenadas geográficas 53º15’00’W, 25º15’00’’S e 44º00’00’’W, 19º30’00’’S. Com uma área aproximada de 247.941,2 km², possui fronteiras interestaduais com o Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso e Paraná. Limita-se ao sudeste com o Oceano Atlântico. Estas

características fazem do mapeamento em 1:1.000.000 uma escala desejável de trabalho, em que 1mm de mapa corresponda a 1km no terreno. Na ***Figura 9*** está a área de estudo e suas coordenadas geográficas representadas em latitude e longitude.

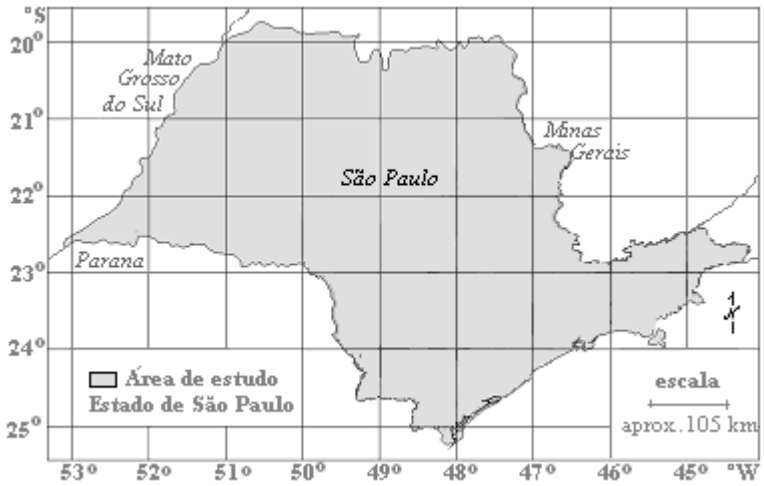


Figura 9 - Localização da área de estudo.

O Estado possui características físicas que compreendem duas regiões naturais distintas que são estabelecidas por ROSS & MOROZ (1997), segundo sua geomorfologia como a Bacia Sedimentar do Paraná (localizada no interior do Estado) e o Cinturão Orogênico do Atlântico (região litorânea do Estado). A Bacia Sedimentar do Paraná é caracterizada pelos vales dos rios Mogi-Guaçu, Pardo, Turvo, Tietê, Aguapeí, do Peixe e Paranapanema. A região do Cinturão Orogênico do Atlântico engloba as Bacias Sedimentares Cenozóicas e Depressões Tectônicas.

Segundo CAMARGO et al. (1974) as características climáticas gerais do Estado são consideradas como tipicamente tropicais e nas áreas montanhosas e de altitude pode ser classificado como tropical de altitude. As chuvas são abundantes na estação estival tornando o clima tropical úmido, uma condição que favorece a agricultura e pecuária em geral. Pela sua extensão territorial apresenta regiões em que o desenvolvimento agropecuário é diferenciado em função da distribuição das chuvas durante o ano, ocorrência de geadas e secas espontâneas que podem interferir nas fases fenológicas críticas das culturas.

Pela classificação climática de Köppen, de acordo com RUSSO Jr. (1980) e CAMARGO et al. (1974), ocorre o clima tropical de altitude no Planalto Ocidental Paulista (inverno seco e verão quente); tropical chuvoso (inverno seco) nas

proximidades dos rios Paraná e Grande; ao Sul do Planalto Ocidental, nas margens do rio Paranapanema e do rio Ribeira do Iguape, ocorrem às faixas de clima tropical (verão quente sem estação seca de inverno); as áreas serranas (verão ameno e chuvoso o ano todo) e a faixa litorânea são caracterizadas pelo clima tropical chuvoso, sem estação seca.

Com relação às características pedológicas, em São Paulo ocorrem 30 unidades de solo, com propriedades que determinam os diferentes comportamentos quanto ao desgaste e empobrecimento quando cultivados. Conforme o BRASIL (1960), resumidamente pode-se dizer que 2% da classificação pedológica corresponde a solos Hidromórficos, o grupo dos Latossolos somam-se 55%, o grupo dos (Argissolos) Podzólicos e Terra Roxa Estruturada somam-se 31%, Litossolos possuem 1%, Regossolo com 4% e associação de solos cerca de 5%.

3.2.2 Dados do meio físico

Para permitir operações de integração por sobreposição em SIG, os diferentes planos de informação básicos foram estruturados em imagens (*raster*) sob mesma resolução espacial e demais especificações geométricas. A base destas especificações foi adotada a partir daquelas referentes aos dados topográficos, na forma em que foram armazenadas após seu preparo. No **Quadro *5*** resumem-se as principais características das especificações seguidas por todos os planos do banco de dados.

Quadro 5 – Estrutura geométrica de imagem para o Estado de São Paulo

Eixo	[1]Mínimo	[1]Máximo	Resolução	Colunas/Linhas
x	-54º 00’ 00”	-43º 30’ 00”	0,05º (~500m)	2100
y	-26º 00’ 00”	-19º 00’ 00”	0,05º (~500m)	1400

(1) Georreferência relativa ao Elipsóide Internacional, Datum Córrego Alegre.

Os dados topográficos foram coletados a partir de dados de sensoriamento remoto do satélite RADARSAT-1 e preparado com técnicas de geoprocessamento. Basicamente esse processo pode ser resumido em três etapas: georreferência da imagem, correção de artefatos e avaliação da exatidão altimétrica e planimétrica. Os processos de preparação deste PI resultaram em um plano de informação da altimetria com PEC classe C. O processo de preparação e avaliação deste PI está

esquematizado na ***Figura 10.*** O arquivo importado para o SIG foi processado também para uma conversão dos referenciais de datum Geodésico para Córrego Alegre (Elipsóide internacional) (VALERIANO et al., 2002).

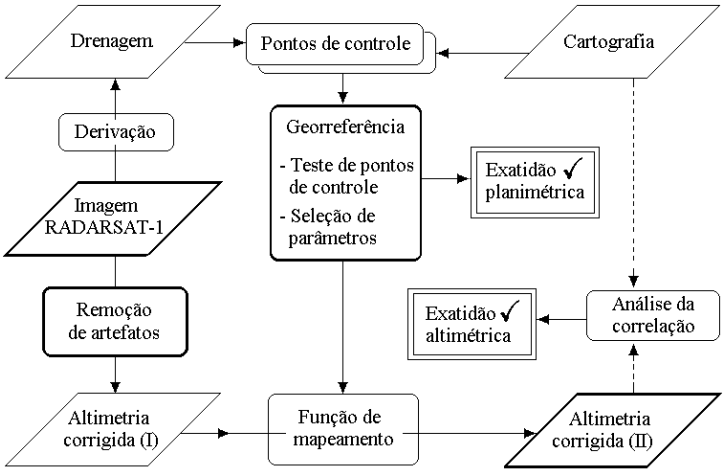


Figura 10 – Preparação e avaliação do plano de informação de altimetria.

Fonte: VALERIANO et al. (2002).

O processo para verificação da exatidão altimétrica foi realizado com base em análises de regressão entre 73 pontos amostrados sobre cartas topográficas em escala 1:250000 e os níveis correspondentes da imagem de altimetria corrigida. O erro médio (em torno de 75m), foi explicado, entre outros fatores, pela combinação dos erros posicionais com a distribuição da declividade. Segundo VALERIANO et al. (2002) apesar da ligeira dispersão dos dados, a correlação encontrada entre as cotas altimétricas correspondentes da imagem e dos mapas, com coeficiente de determinação de R^2=0,90, não indicou necessidade de ajustes sistemáticos na imagem.

Os dados meteorológicos utilizados provieram de 378 postos pluviométricos do DAEE e foram integrados ao banco de dados na forma de arquivos de registros do tipo x, y, z_1, z_2, ..., z_n,. Os dados foram compilados de séries temporais de 1962 a 1990, resultando em arquivos com médias mensais compensadas de temperatura (^oC) e pluviometria (mm). As análises foram feitas com os dados estratificados em duas regiões (*Interior* e *Litoral*), estabelecidas a partir de informações geomorfológicas.

Os mapas de temperatura média mensal foram calculados sobre a base topográfica digital obtida por sensoriamento remoto (RADARSAT-1) através da

regressão múltipla entre as médias mensais, a latitude e altitude local, segundo a ***Figura 11.***

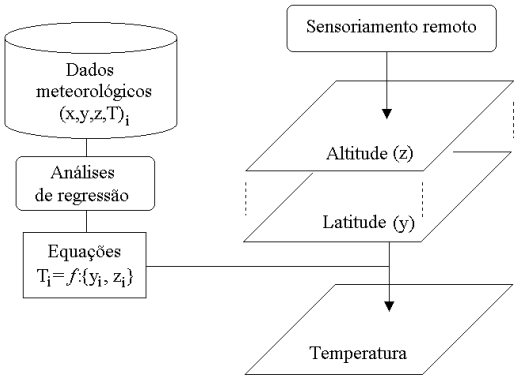


Figura 11 – Fluxo de dados para espacialização dos dados de temperatura.

Fonte: VALERIANO & PICINI (2000).

Os mapas de chuva foram obtidos por interpolação direta dos dados metereológicos, nas duas áreas (Litoral e Interior), repetindo os passos realizados por VALERIANO et al. (2002), porém sob base geométrica compatível com a estrutura escolhida. Conforme detalham estes autores, os dois produtos interpolados foram justapostos aplicando-se uma ponderação gradual através da distância de 1º geográfico, e posterior ajuste aos dados originais por regressão linear (***Figura 12***).

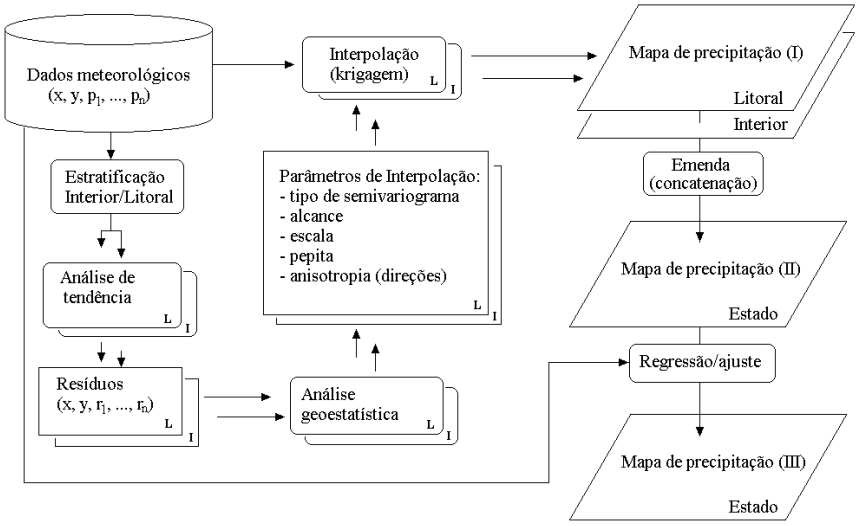


Figura 12 – Fluxo de dados para mapeamento de dados de chuva. Adaptado de VALERIANO et al. (2002).

Os dados de solos, provenientes do levantamento de solos de OLIVEIRA (1999) na escala original de 1:500.000 foram compilados em um banco de dados tabular, associado ao PI dos polígonos das manchas de solo, que por sua vez foi digitalizado em mesa. O PI das classes mapeadas foi ainda preparado com técnicas de georreferência, até ficar adequadamente compatível com os demais PI formados para o banco de dados. As respectivas informações pedológicas foram armazenadas em um Gerenciador de Banco de Dados, associadas aos respectivos polígonos, com os quais se formaram os PI de cada variável.

A georreferência foi usada para que o mapa ficasse com a mesma geometria dos outros temas, permitindo cruzamentos necessários para o zoneamento. Esse processo foi realizado a partir de um arquivo de correspondência em que eram colocados os pares de coordenadas do mapa a ser corrigido e o mapa já com as medidas corretas.

3.3 Especificação dos equipamentos e programas utilizados

Os procedimentos adotados são exeqüíveis em equipamentos disponíveis de uso comum a instituições de pesquisa e ensino, havendo compromisso entre o detalhamento (sobretudo a resolução espacial) dos dados e a capacidade de processamento demandada. Procurou-se desenvolver o máximo do fluxo de trabalho em plataforma computacional pessoal (PC) com os periféricos triviais, equipado com programas de manipulação e gerência de dados variados.

Os principais programas utilizados no trabalho foram:

- Idrisi, Ilwis, e Surfer (geoprocessamento);
- AutoCAD (preparação e testes dos planos de informação);
- Corel-Draw e Paintbrush (edição gráfica),
- Excel (planilha),

Além de editores de texto, editores numéricos e programas específicos de conversão de formatos e cálculos para auxiliar na migração de arquivos entre os diferentes aplicativos. Acrescentando ao material cartográfico e à infra-estrutura computacional os equipamentos e acessórios de desenho técnico, completam-se os meios demandados pela parte de escritório do trabalho de pesquisa.

3.4 Geoprocessamento dos dados

O geoprocessamento aplicado neste estudo consistiu basicamente na preparação dos planos de informação compatíveis entre si e na classificação dos mesmos face a critérios de aptidão edafoclimática existentes. Grande parte dos procedimentos descritos na literatura compreendem estas atividades seguidas da combinação lógica dos resultados de cada aspecto fundamental (solos, temperatura e pluviometria). Para transformar os dados do meio físico em informações de interesse agrícola, os dados da literatura convergem uma série de pesquisas básicas relacionando a produtividade de culturas às condições de clima e de terreno, determinando intervalos ótimos de variação desses dados. Na ***Figura 13*** estão resumidos os principais pontos da organização do Banco de dados.

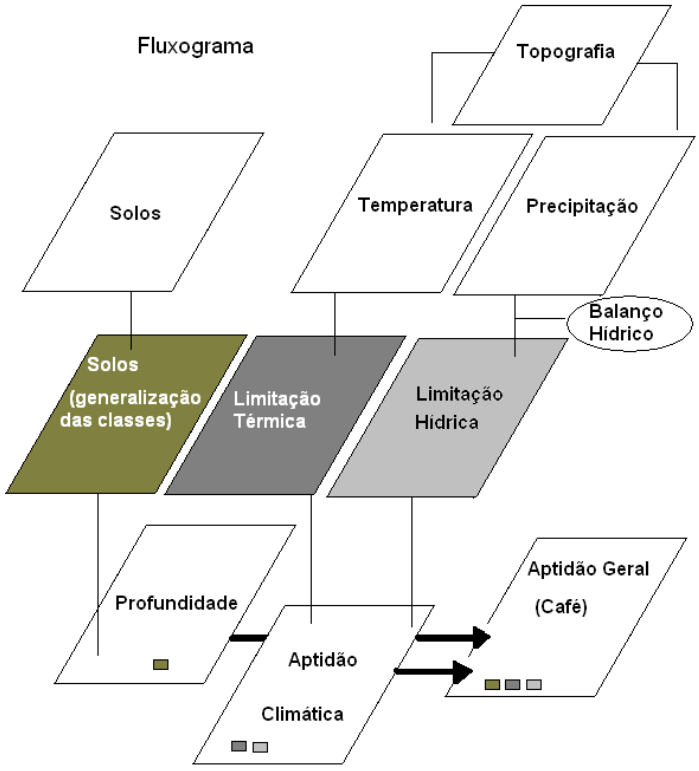


Figura 13 **-** Fluxograma da montagem do banco de dados para aptidão do café.

Para a caracterização da limitação dos dados edáficos foi utilizado os parâmetros de CHIARINI et al. (1977) sobre profundidade. Segundo as características de profundidade efetiva, para que o café se desenvolva bem é necessário um solo com uma profundidade de 200 cm. Para esse mapeamento foi

criado o PI de profundidade com três classes: apta, profundidade de 200 cm; restrita, profundidade de 150 cm; inapta, profundidade menor que 150 cm.

Para a organização das limitações climáticas foi usado a caracterização de EVANGELISTA et al. (2002) que formaram um banco de dados em que as classes de aptidão se dividiam em três limites: apta, restrita e inapta.

De acordo com essa classificação, as regiões produtoras de café se distinguem conforme as condições térmicas e hídricas que prevalecem em cada região. De acordo com estudos anteriores realizados sobre o desenvolvimento do café, foi estabelecido um banco de dados em que as boas regiões produtoras estão localizadas onde ocorrem mais de 150mm de chuva por mês no período de outubro a março. De outubro a março, o cafeeiro necessita de maior umidade no solo e, na fase da colheita e repouso o solo pode ficar com pouca umidade sem grandes prejuízos, de acordo com o apresentado no ***Quadro 6.***

Quadro 6 - Classes de aptidão do banco de dados digitais do zoneamento de Minas Gerais

classes	Limitação Térmica	Limitação Hídrica – Da.
apta	19ºC a 22ºC	<150 mm
restrita	18ºC a 19ºC 22ºC a 23ºC	150 a 200 mm
inapta	<18ºC >23ºC	>200 mm

Fonte: EVANGELISTA et al. (2002)

Analogamente, a classificação da aptidão para o café em função dos dados climáticos pode ser resumida segundo o ***Quadro 6***. Dos dados disponíveis nos planos de informação, as variáveis de aptidão térmica e deficiência hídrica podem ser calculadas através dos recursos de reclassificação e fatiamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação de resultados foi feita, sempre que possível, de maneira usual, por meio de tabelas, gráficos e mapas, procurando-se mostrar os resultados em sua totalidade. Porém, a análise visual de algumas superfícies de resultados numéricos foi melhorada com a classificação das imagens em faixas de variação, ou classes. A classificação dos resultados de análise cartográfica ou de geoprocessamento é uma simplificação gráfica, em pós-processamento, lembrando-se que estes foram obtidos e armazenados na forma de dados contínuos. Os resultados relativos aos dados de solo são a exceção, uma vez que estes provêm de mapas apresentados em polígonos, referentes às manchas uniformes dos tipos de solos.

Não houve qualquer aplicação de interpolações para a geração de figuras em pós-processamento. Em outras palavras, apresentação dos resultados espacializados foi feita célula a célula, em figuras com a resolução dos dados originais. As figuras de distribuição espacial dos resultados principais, representando planos de informação do Estado de São Paulo relacionados entre si, foram elaboradas sobre uma mesma base geométrica.

4.1 Planos de informação básicos

Foram confeccionadas representações cartográficas dos PI básicos que constituíram originalmente o banco de dados. No **Apêndice A** estão apresentados os mapas de grupos de solos que deu origem ao PI de profundidade. Nos **Apêndices B** e **C** estão apresentados, respectivamente, os mapas de temperatura média mensal e precipitação média mensal do Estado de São Paulo. No **Apêndice D** estão os PI referentes Deficiência Hídrica, usados na geração dos déficits hídricos com índices diversos de Capacidade Disponível de Água – CAD. Os PI calculados a partir destes estão apresentados no fluxo da discussão, sob mesma geometria, para permitir comparações visuais.

4.1.1 Solos

Os dados de solos (OLIVEIRA,1999) que originalmente agrupam-se em 434 subclasses das 10 classes unitárias mostrada na legenda da ***Figura 14,*** foram reduzidos devido à necessidade de generalização cartográfica e temática. As variáveis descritas para cada classe de solo têm caráter geralmente qualitativo, salvo casos em que os limites de determinadas variáveis fazem parte da definição das classes. No ***Quadro 7***, as classes estão caracterizadas em termos do código da classe de solo, abreviatura, nomenclatura nova e antiga do solo e abrangência das classes no Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999).

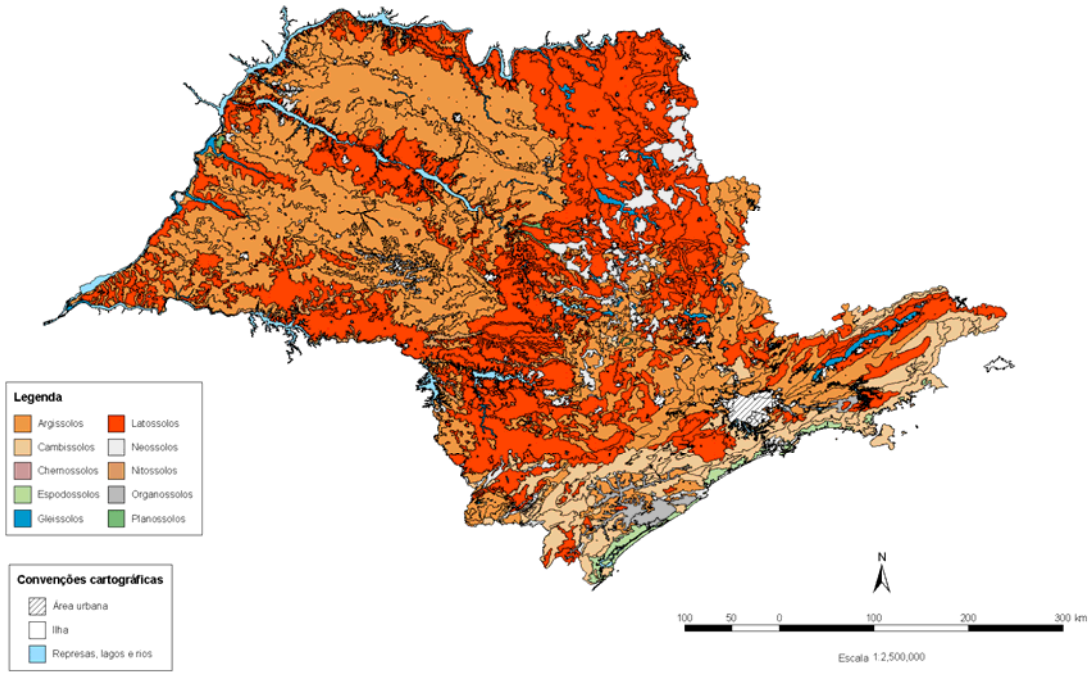


Figura 14 – Mapa de Solos do Estado de São Paulo contendo 434 classes (arquivo cedido pelo Laboratório de Geoprocessamento - Centro de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico).

Quadro 7 - Classes de solos para o Zoneamento e o correspondente a sua abrangência no Mapa Pedológico de OLIVEIRA (1999).

abrev.	Nome (novo)	Abrange (subclasses)	área km2	%
CH	Cambissolo Húmico	CH1-CH2	268,59	0,1
cidade	área urbana		5.097,59	2,1
CX	Cambissolo Háplico	CX1-CX31	18.521,51	7,5
ES	Espodossolos Ferrocábicos	ES1-ES2	1.954,47	0,8
GM	Gleissolos Melânicos		601,92	0,2
GX	Gleissolos Háplicos	GX1-GX15	2.195,30	0,9
GZ	Gleissolos Sálicos	GZ1-GZ2	224,19	0,1
ilha	ilha		31,92	0,0
LA	Latossolos Amarelos	LA1-LA10	1.629,30	0,7
LB	Latossolos Brunos	LB1-LB3	338,63	0,1
LV	Latossolos Vermelho	LV1-LV79	74.448,12	30,0
LVA	Latossolo Vermelho Amarelo	LVA1-LVA61	21.652,34	8,7
MT	Chernossolos Argilúvicos		12,35	0,0
NV1	Nitossolos Vermelhos		1.595,49	0,6
NV2	Nitossolos Vermelhos		596,97	0,2
OU	Organossolos		2.510,02	1,0
PV	Argissolos Vermelhos	PV1-PV10	6.947,30	2,8
PVA	Argissolos Vermelhos-Amarelos	PVA1-PVA116	95.373,17	38,5
represa	corpo d'água		4.205,77	1,7
rio	corpo d'água		731,54	0,3
RL	Neossolos Litólicos	RL1-RL26	3.169,26	1,3
RQ	Neossolos Quartzarênicos	RQ1-RQ11	294,92	0,1
RU	Neossolos Ilúvicos	RU1-RU3	5.266,61	2,1
SX	Planossolos Háplicos	SX1-SX3	274,00	0,1
total		434	247.941,2	100.0

As variáveis de fertilidade (disponibilidade de nutrientes), saturação por Al^3 (toxidade), porosidade e drenagem, embora sejam apontadas como influentes na produtividade e na qualidade do café (CHIARINI, 1977), não são passíveis de inserção no banco de dados, pelo fato de não serem caracterizadas apropriadamente para cada mancha de solo ou de não serem passíveis de mapeamento na concepção de variável estática, para fins de planejamento. Futuramente, levantamentos mais detalhados ou especificamente desenvolvidos para este fim podem incluir a caracterização de parte dessas variáveis, permitindo um maior refinamento do banco de dados.

A geração de um PI de cada variável do solo consiste no agrupamento das diferentes classes originalmente mapeadas em níveis ou intervalos iguais da variável em questão.

A geração dos PI individualizados por variável de solo permite que estes sejam analisados espacialmente através de funções de SIG. Por exemplo, em uma operação de consulta simples ao SIG, pode-se estimar a distribuição territorial do Estado sob uma condição particular de solo. Forma-se assim um histograma de cada variável, em que a freqüência se refere à área de ocorrência daquela condição em vez do número de indivíduos (no caso, manchas de solo). Esses recursos favorecem análises regionais de caráter mais abrangentes, em que se queira contabilizar todo o Estado, ou para comparações entre Estados. Na ***Figura 15*** está exemplificado o histograma da variável de classes de solo para o Estado de São Paulo, para a cultura cafeeira.

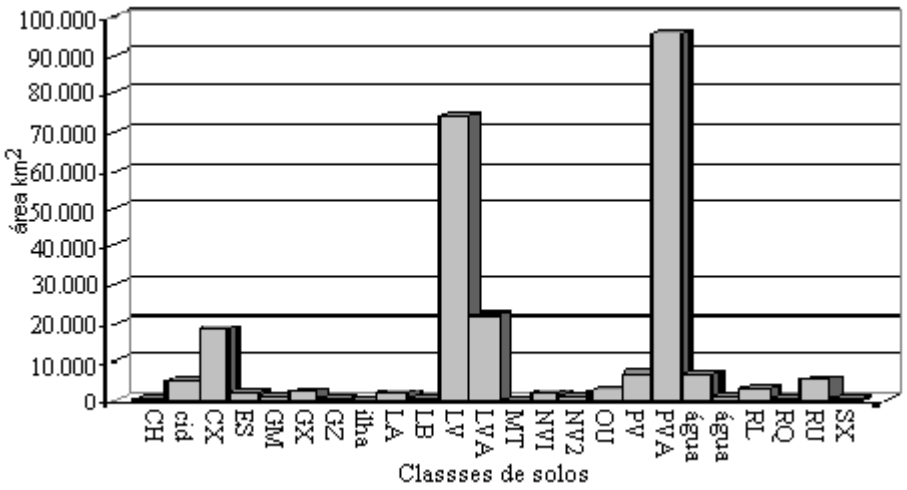


Figura 15 – Distribuição territorial das classes do solo para o Estado de São Paulo.

Observa-se, pela ***Figura 15***, que no Estado predominam os grupos dos Argissolos, Latossolos e Cambissolos, totalizando 87% da área do Estado.

4.1.2 Clima

Os dados básicos de clima consistem num conjunto de médias mensais de temperatura e de precipitação pluvial, num total de 24 planos de informação. Ao contrário dos dados de solo, cujos PI advêm de um único conjunto mapeado de

polígonos que se caracterizam em diferentes variáveis, os PI dos dados climáticos se apresentam numérica e geograficamente contínuos, numa estrutura de superfície numérica (ou MNT), do mesmo modo que se armazenam dados de altimetria, por exemplo. Dadas suas características, os diferentes planos de dados climáticos são prontamente operáveis entre si e individualmente.

Na ***Figura 16 é*** apresentada a variação espacial da média anual de temperatura, calculada a partir dos 12 PI de médias mensais com operações de sobreposição. Cabe lembrar que a visualização em intervalos de 1^{o}C foi elaborada através de fatiamento dos níveis de temperatura média anual calculada, enquanto que a mesma informação está armazenada no SIG (e utilizada em cálculos) em sua forma contínua.

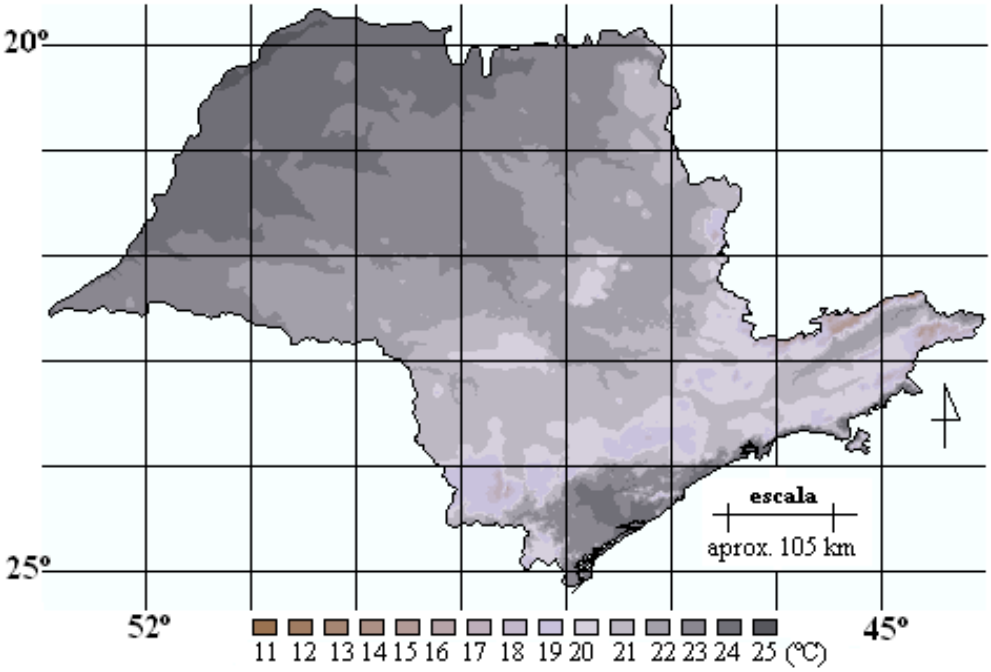


Figura 16 – Temperatura média anual do Estado de São Paulo.

Em médias anuais de temperatura, o Estado de São Paulo apresenta como regiões mais frias a Serra do Mar e a fronteira nordeste com Minas Gerais. Há uma grande área do estado com temperatura média de 21ºC a 22ºC (18 %), 22ºC a 23ºC (22 %), 23ºC a 24ºC (27 %) e 24ºC a 25ºC (17%) localizada na parte centro-oeste como é observado no ***Quadro 8.***

Quadro 8 – Distribuição espacial da média anual de temperatura no Estado de São Paulo

Temperatura média anual (ºC)	área km2	área%
<11	2,28	0,001
11-12	5,69	0,002
12-13	10,25	0,004
13-14	36,44	0,015
14-15	297,86	0,120
15-16	410,26	0,165
16-17	1.180,86	0,476
17-18	2.042,47	0,824
18-19	8.530,22	3,441
19-20	24.089,53	9,716
20-21	44.563,46	17,974
21-22	56.474,44	22,779
22-23	66.115,33	26,667
23-24	42.894,75	17,301
>25	1.273,37	0,514
total da área	247.927,23	100

No gráfico da ***Figura 17*** é observado a distribuição das temperaturas por quilômetro quadrado. As temperaturas mais expressivas são as do intervalo de 21ºC a 23ºC perfazendo um total de 210.047 km² correspondente a 84% da área.

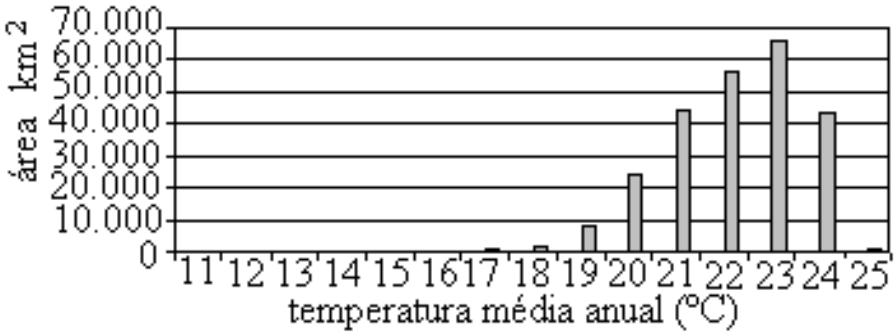


Figura 17 **-** Distribuição das médias anuais de temperatura em área, com intervalos de 1ºC a partir da sua ocorrência.

Podem-se distinguir regiões de temperaturas mais aptas ao cultivo do café e outras menos aptas segundo critérios de limitações térmicas, porém, mais expressivas do que as diferenças de médias anuais, os padrões sazonais de temperatura só podem

ser percebidos através da apreciação conjunta das médias mensais. Dada a natureza de cálculo empregada para a elaboração desses PI, ressalta-se que as variações observadas na temperatura se relacionam diretamente com a altitude e latitude locais.

Histogramas da distribuição territorial das temperaturas mês a mês (***Figura 18***) indicam que nos meses de janeiro a abril as médias térmicas variam de 23ºC a 26ºC na maioria do território paulista. No quadrimestre seguinte, maio a agosto, as temperaturas médias mensais se concentram na maior parte do Estado em 18ºC a 22ºC. De setembro a dezembro há um aumento gradual da distribuição da temperatura chegando aos 28ºC como média no quadrimestre final do ano.

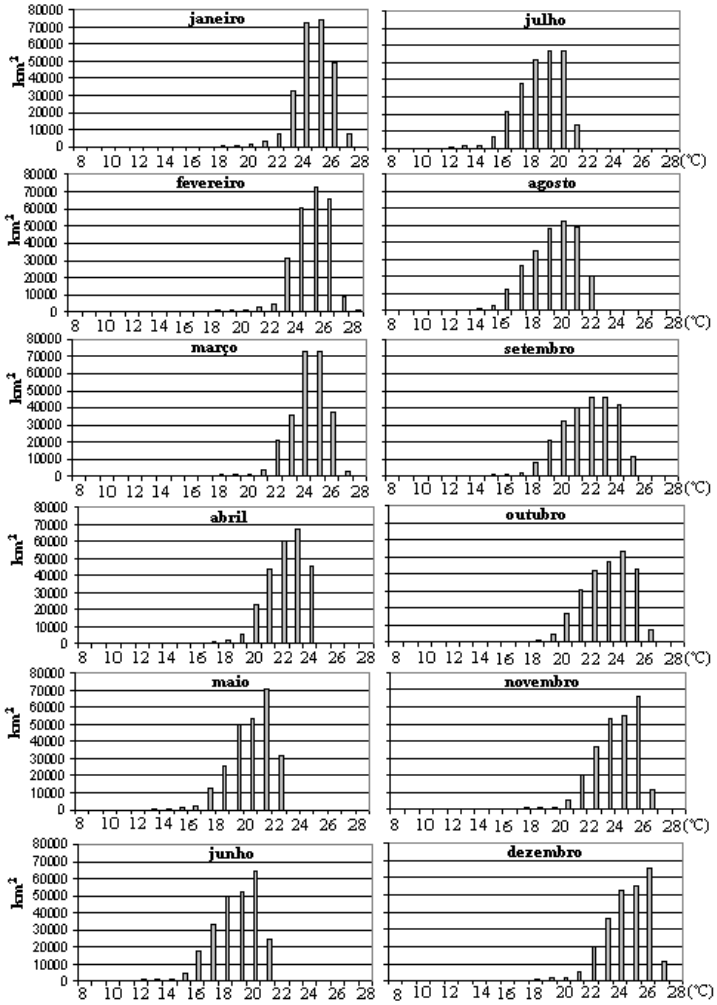


Figura 18 - Distribuição das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo, com intervalos de 1ºC a partir de sua ocorrência.

Da mesma forma, os PI de precipitação pluviométrica podem ser diretamente operados entre si para a geração de mapa, por exemplo, do anual de precipitação pluvial (***Figura 19***). Nesse caso, foi necessário uma simples sobreposição das médias mensais com a operação de soma.

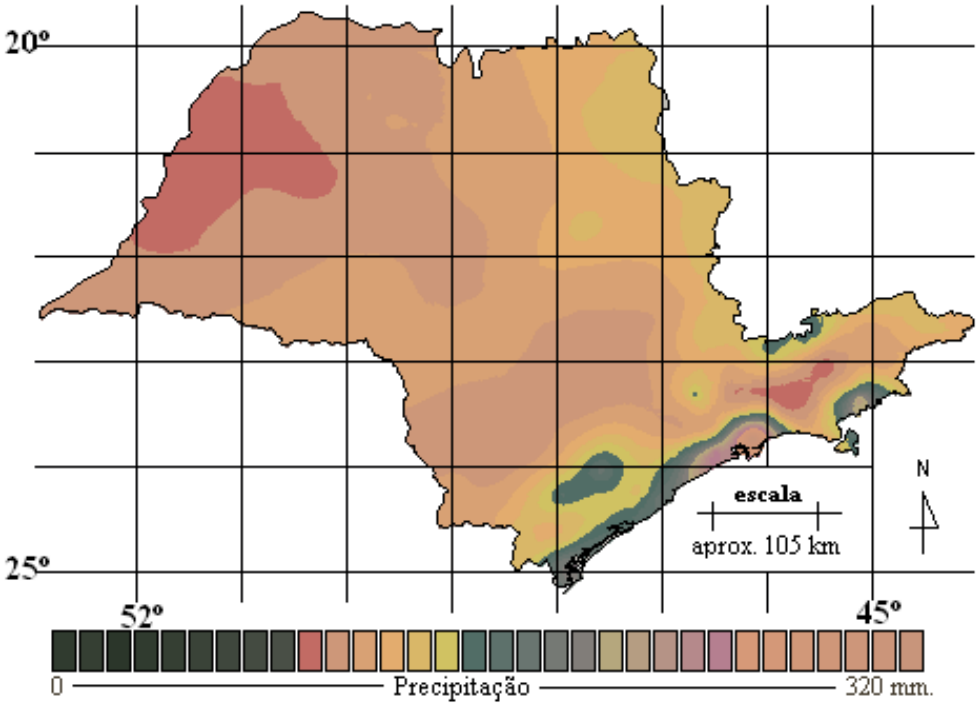


Figura 19 – PI de Precipitação pluvial total anual média do Estado de São Paulo em intervalos de 10 mm em 10 mm.

Observa-se que a distribuição espacial da precipitação pluvial no Estado de São Paulo ***(Figura 19***) indica o litoral e a parte que faz divisa com o Estado de Minas Gerais, como regiões de maiores níveis, em contraposição à região do oeste paulista (Presidente Prudente) e noroeste, onde os níveis médios anuais são menores que 110mm

A distribuição territorial das precipitações médias mensais pode ser observada nos histogramas da ***Figura 20.***

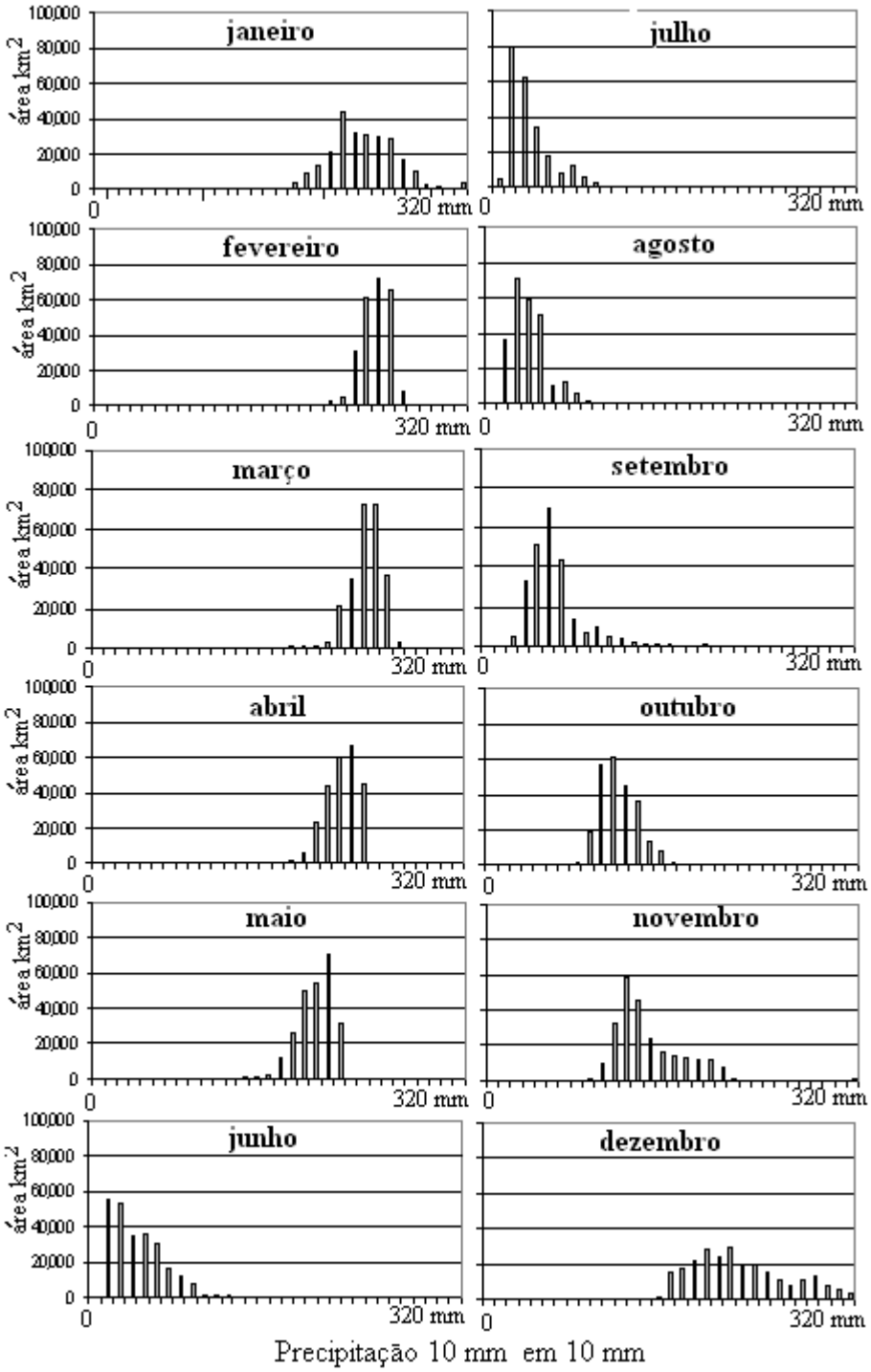


Figura 20 - Distribuição da precipitação pluvial média mensal do Estado de São Paulo.

Em termos mensais, observa-se um período de grande precipitação pluvial de janeiro, fevereiro e março e relativa estiagem no mês de julho, agosto e setembro apesar dos registros extremos de 40mm, 50 mm e 60mm, respectivamente nesses

mesmos períodos. A observação dos mapas mês a mês (**Apêndice C**) permite verificar o local de ocorrência desses contrastes.

4.2 Operação dos planos de informação

A operação dos planos de informação (PI) podem ser divididas em duas etapas principais: (a) a obtenção de variáveis de importância agrícola e (b) a classificação das áreas em aptidão. Enquanto certos dados de solos constituem diretamente variáveis de interesse agrícola, outros, especialmente dados climáticos, requerem uma elaboração (integração e cálculos) para fornecer informações úteis. Pode-se exemplificar a etapa (a) com o cálculo do balanço hídrico, mencionado anteriormente, que faz uso de dados mensais de temperatura e precipitação. Para este trabalho, a discussão acerca da seleção e da obtenção das variáveis serão agrupadas num primeiro bloco, ficando a etapa (b) alvo de uma segunda apreciação.

4.2.1 Seleção e cálculo de variáveis de interesse agrícola

As variáveis de solo ligadas à fertilidade e pedregosidade necessitam de um mapeamento dentro das classes podendo estar ou não vinculado à característica dos tipos de solos. Uma característica muito importante e apontada como determinante no cultivo do café é a profundidade e está mapeado no PI básico referente às limitações edáficas apresentado na ***Figura 21***.

Das informações climáticas citadas no apêndice B, C e D derivaram-se os PI de aptidão térmica e aptidão hídrica. Depois da seleção de variáveis e processamento dos atributos relacionados aos dados de clima formou-se o PI de aptidão climática.

O cruzamento do PI de aptidão climática (limitações térmicas e hídricas) e o PI de profundidade geraram o zoneamento em si, com dados para a cultura do café.

4.2.2

Classificação das áreas

Solos

Para o processamento do zoneamento da cultura do café no Estado de São Paulo foram usados os PI de aptidão térmica e hídrica e o PI de profundidade. Para o dado de

profundidade foram usados padrões desse atributo distribuídos em quatro classes que vão de rasos (<150 cm), profundos (≥150 cm), muito profundos (200 cm) e não agricultáveis. A partir do mapa de solos que foi reclassificado, mediante critérios de profundidade efetiva, foi gerado o PI de profundidade. Esse PI apresentou 14 classes as quais foram agrupadas em profundidade segundo a legenda visualizada na ***Figura 21.***

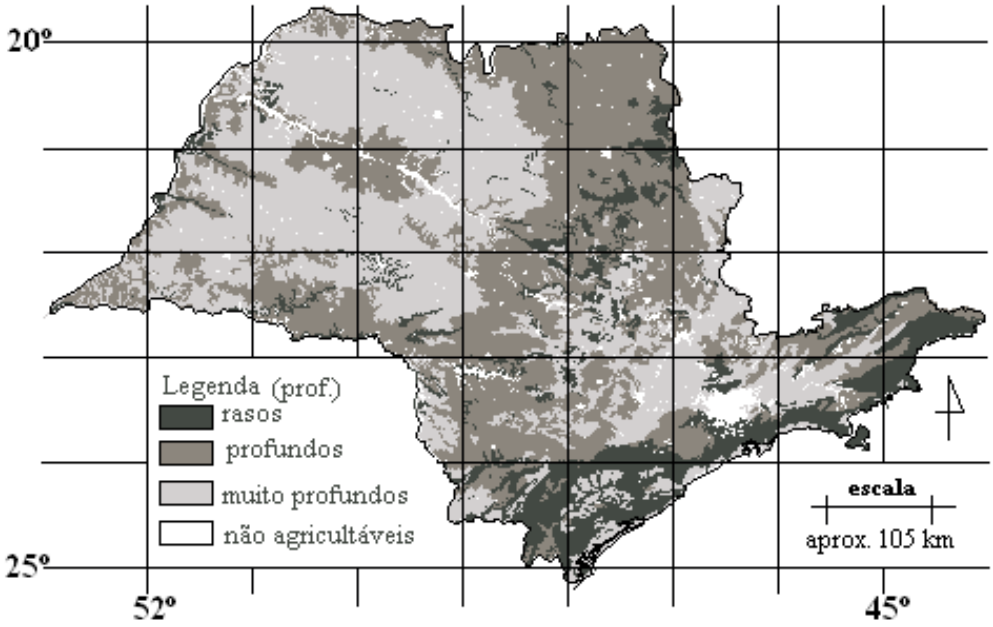


Figura 21 – Classes de profundidade dos solos do Estado de São Paulo.

Segundo CHIARINI et al. (1977) os solos mais adequados ao cultivo do café são os profundos, pois é um elemento correlacionado ao sistema radicular dos cafeeiros. Entendem-se como solos profundos os que possuem uma profundidade efetiva ≥ 150 cm. No plano de informação de profundidade observa-se que a maioria do Estado possui boa condição para o plantio do café totalizando uma área de 200.388,8743 km^2, correspondendo 80%, distribuídos nos grupos dos Argissolos e Latossolos.

Temperatura

Como o banco de dados de temperatura foi criado em seqüências térmicas de 0ºC a 28ºC, os intervalos da limitação cafeeira ficaram separados aumentando as classes. Por exemplo: na classe inapta temos o índice de temperaturas menores que 18ºC e maiores que 23ºC. Esses dois intervalos não foram agrupados gerando dois intervalos para a mesma classe. O intervalo da classe restrita é de 18ºC a 19ºC

pulando para 22ºC a 23ºC, criando dois indicadores para a mesma limitação, pois não houve o agrupamento.

Também temos um adicional de uma outra classe, pois a sobreposição ocorre na imagem como um todo não somente na parte do que é preenchido o Estado. Depois é descontada a área de fora do Estado na análise territorial.

Na escolha da paleta das classes é colocada a mesma cor para o limite com justificativa igual (1 = <18ºC – inapta; 2 = 18ºC a 19ºC – restrita; 3 = 19ºC a 22ºC – apta; 4 = 22ºC a 23ºC -restrita e 5 = >23ºC – inapta) somando-se as áreas para constar no gráfico. Na ***Figura 22*** é possível observar as classes antes do agrupamento feito a partir da paleta colorida.

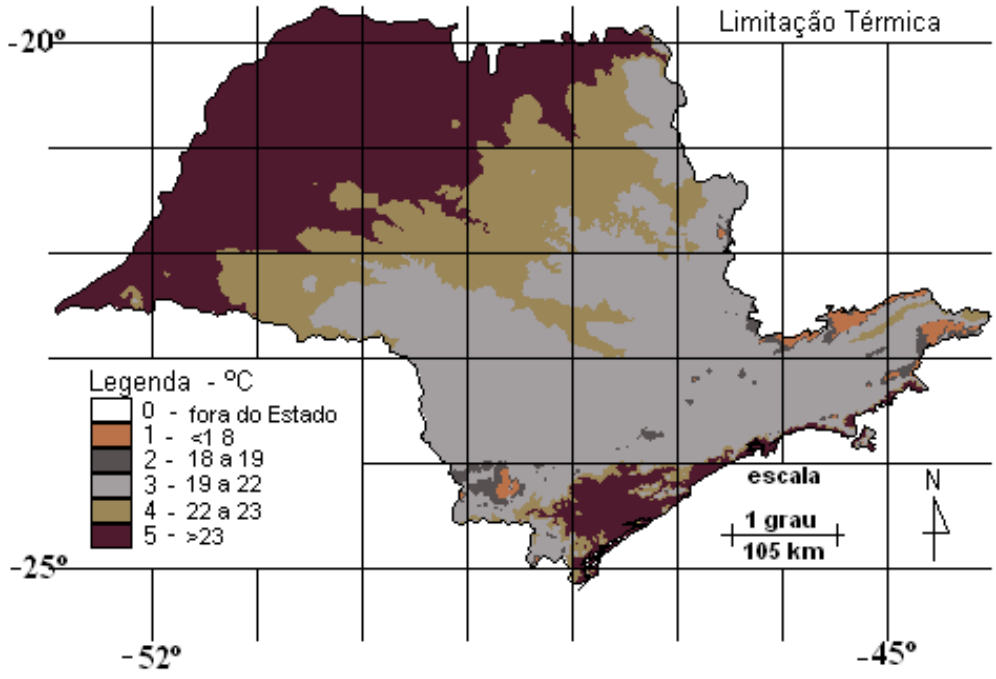


Figura 22 **-** PI de limitação térmica com a totalidade das classes e seus intervalos de temperatura.

No PI de limitação térmica foram observadas as características da espécie C*offea arábica*, pois sua produção no Estado de São Paulo é muito expressiva. Foram inseridas ao banco de dados informações sobre a temperatura apta, a restrita e inapta formando dessa maneira as classes do tema de limitação térmica para o café, conforme é apresentado na **Figura 23.**

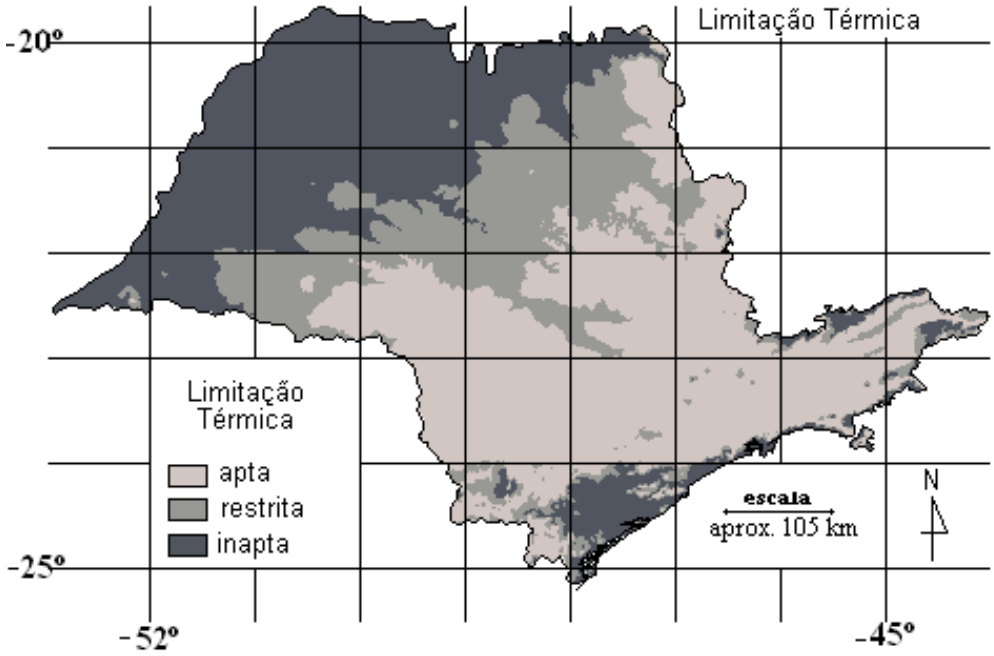


Figura 23– Espacialização das classes de aptidão térmica.

No gráfico da ***Figura 24*** é observado o intervalo de classes que foram usadas para a limitação e suas áreas de abrangência em quilômetros quadrados. As classes foram selecionadas com base nos padrões de florescimento da planta usado por EVANGELISTA (2002).

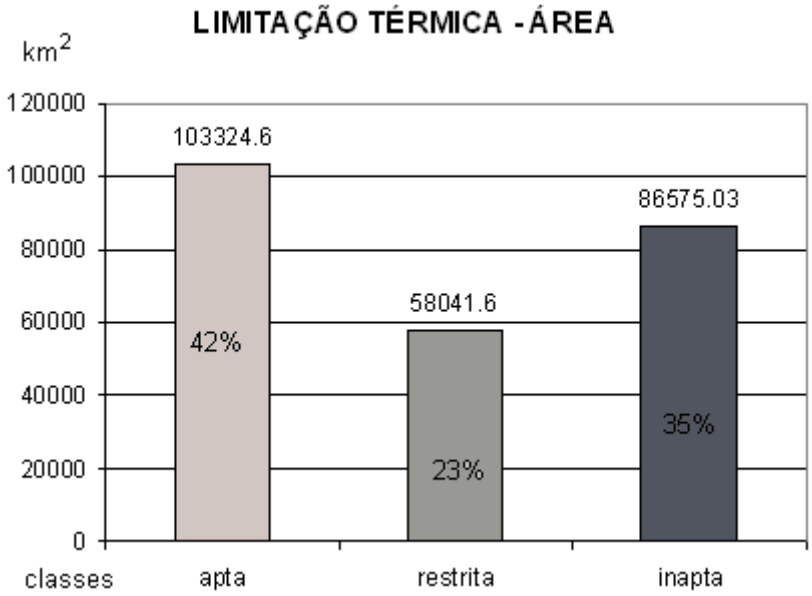


Figura 24 – Distribuição das classes de aptidão térmica para o café.

A maior parte do Estado possui regiões aptas em relação à limitação térmica abrangendo uma área de 103.324,6 quilômetros quadrados ou 42%. As áreas restritas

perfazem um total de 58.041,6 quilômetros quadrados que em porcentagem equivale a 23%, e a classe inapta totalizou uma área de 86.575,03 quilômetros quadrados ou 35% de todo Estado.

Precipitação pluvial

As informações envolvidas na geração do PI de limitação hídrica foram obtidas no Balanço Hídrico. Com processos de reclassificação separaram-se classes referentes às regiões aptas, restritas e inaptas do PI de deficiência hídrica anual para Capacidade de Água Disponível -CAD 125 mm, observado na ***Figura 25***, conforme foi feito com os dados térmicos.

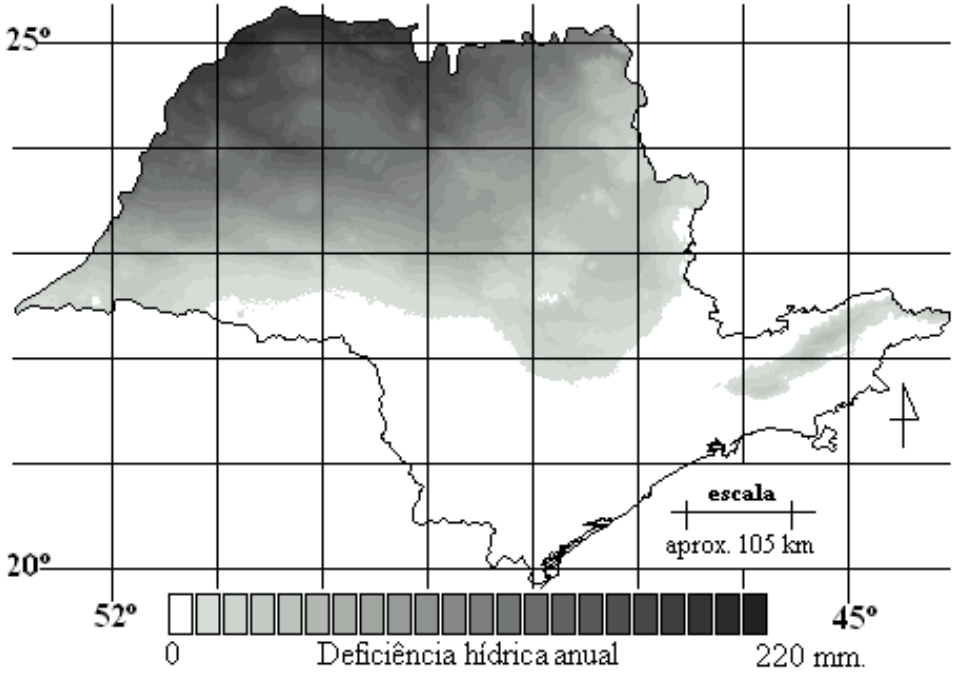


Figura 25 – PI de deficiência hídrica para CAD 125.

Na ***Figura 26*** é mostrada a espacialização dos dados de deficiência hídrica para CAD 125 mm, referente à limitação do café arábica com as classes apta equivalente à deficiência hídrica -Da < 150 mm, restrita com Da de 150 mm a 200 mm e inapta com índices de Da maiores que 200mm.

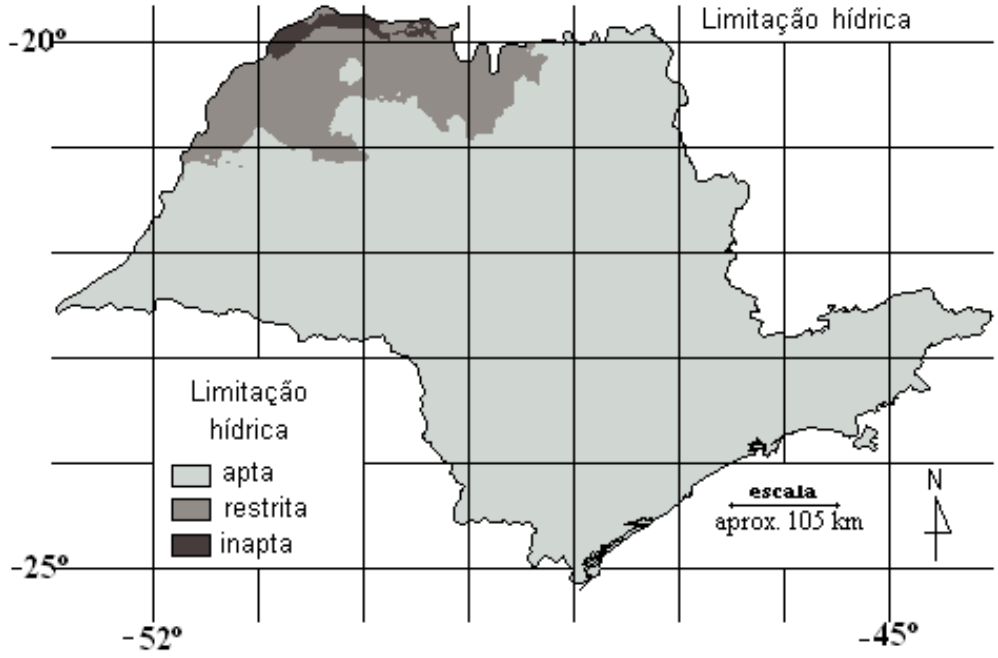


Figura 26 – PI de limitação hídrica.

Como é evidenciado no PI de limitação hídrica a maioria do Estado possui região apta em relação às condições de deficiência hídrica para os dois tipos de café. Com uma área de 216.488,5 quilômetros quadrados a classe apta representa 87% do Estado. No gráfico da ***Figura 27*** é observada a distribuição das áreas em quilometro quadrado, em que as 11% é restrita e 2% é inapta referente a limitação hídrica.

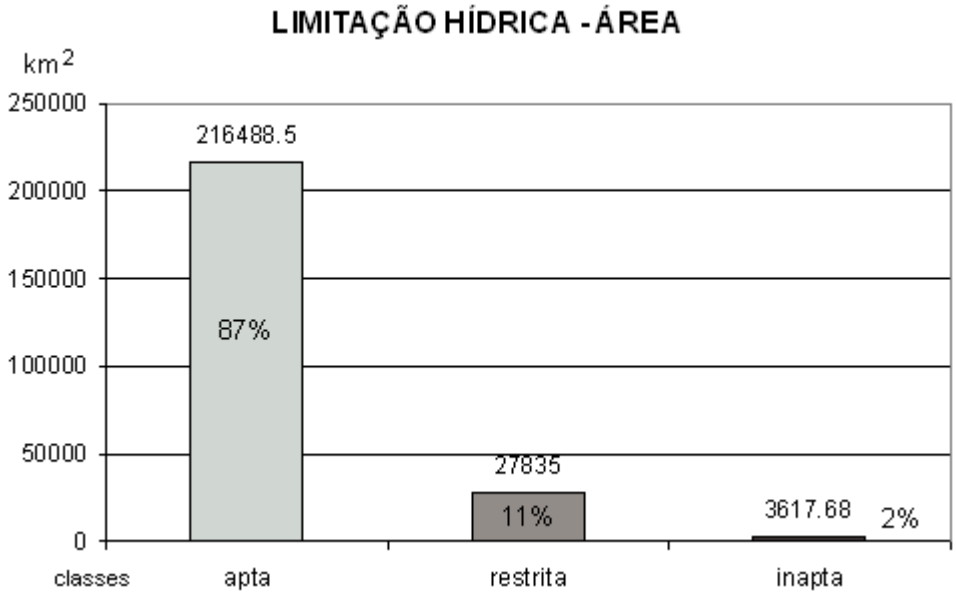


Figura 27 – Distribuição das áreas de deficiência hídrica para o cultivo do café.

Aptidão climática

Para a geração do PI de aptidão climática foi usada uma tabulação cruzada a qual era considerada cada par de classes com intersecção. Apesar dos PI de limitação térmica e hídrica terem três classes cada um, o sistema utilizado contou a classe fora do Estado totalizando respectivamente cinco e quatro classes. Essas classes que aparentemente não se mostram nas figuras da espacialização estão agrupadas fora do contexto das classes das limitações. Foram seis classes do PI de aptidão térmica cruzada com três classes do PI de deficiência hídrica gerando um tema de 14 classes.

Com as classes provenientes da tabulação cruzada, foram selecionados os parâmetros da limitação climática. No ***Quadro 9*** é mostrado como foram selecionadas as classes referentes a regiões aptas, restritas e inaptas.

Quadro 9 – Tabulação cruzada entre limitação térmica e limitação hídrica e seleção de classes de aptidão climática

Cruzamento Hídrica/térmica	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Classes de aptidão climática**
1	0/1	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	3/1 e 3/2 regiões aptas
2	0/2	1/2*	2/2*	3/2	4/2	5/2	4/1 4/2 e 2/1 regiões restritas
3	0/3	1/3	2/3	3/3	4/3	5/3	1/1 5/1 5/2 1/3 2/3 3/3 4/3 e 5/3 regiões inaptas
Classes de limitação hídrica (vertical) **1**: <150mm; **2**=150mm a 200mm; **3**: >200							
Classes de limitação térmica (horizontal) **0**: fora do Estado; **1**: <18ºC; **2**: 18ºC-19ºC; **3**:19-22; **4**:22 a 23 ºC e **5**: >23							

#classes fora do Estado # classe apta, #classe restrita, *cruzamento não ocorrido.

Na ***Figura 28*** é mostrado as 14 classes geradas a partir de tabulação cruzada entre os PI de limitação térmica e hídrica, conforme consta no ***Quadro 9***. A região menos apta está localizada ao norte do Estado e na parte litorânea.

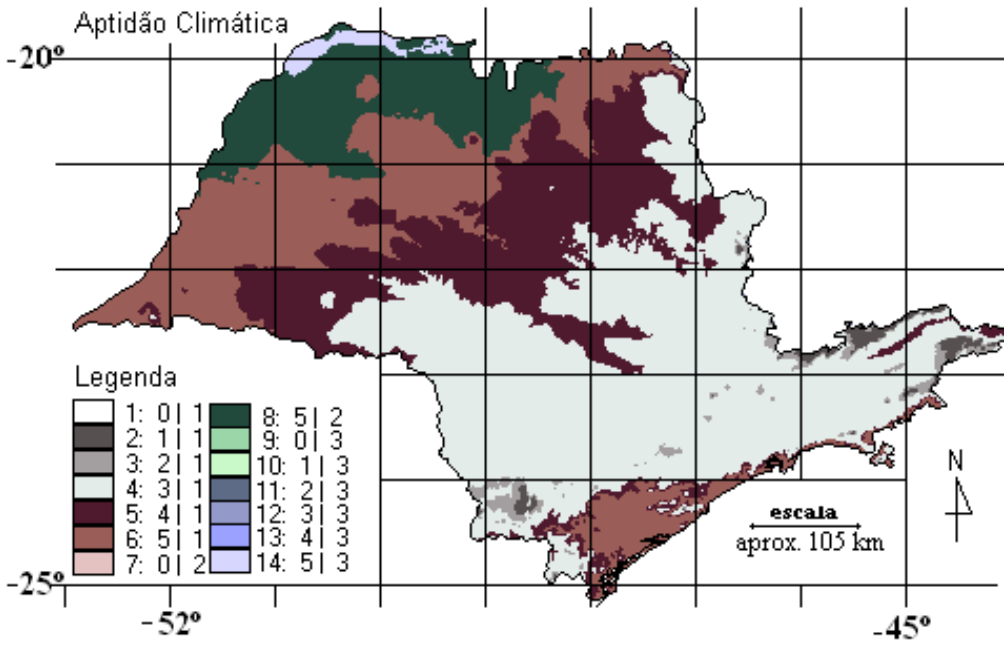


Figura 28 **-** PI de aptidão climática com a totalidade das classes.

Depois de agrupadas as classes do PI de aptidão climática foi possível analisar as áreas e a distribuição no território paulista, como indicado na ***Figura 29***.

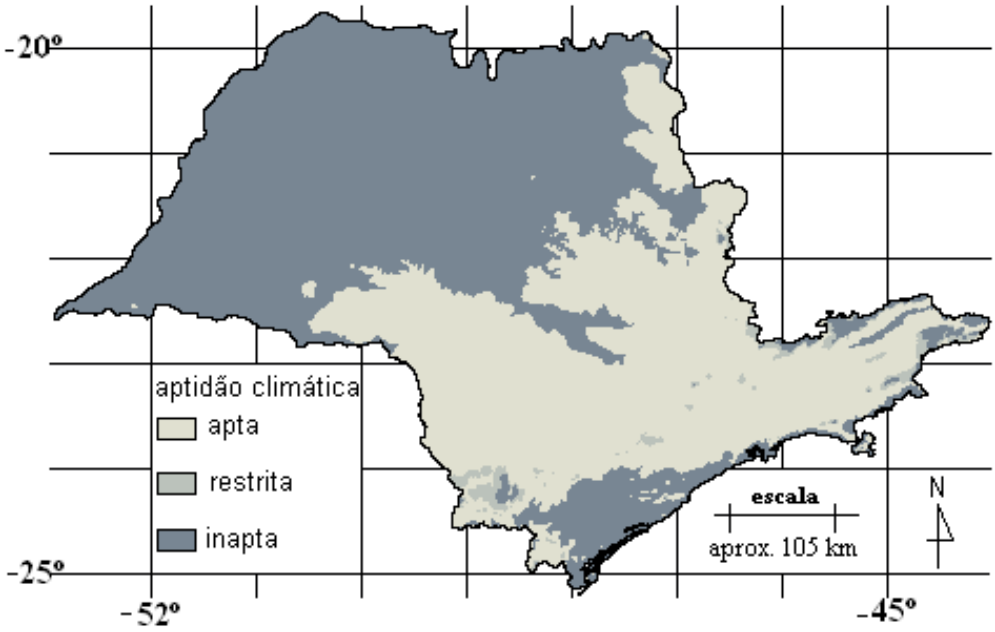


Figura 29 **-** PI de Aptidão Climática com o agrupamento das classes conforme sua restrição.

A classe apta do PI de aptidão climática se localiza no Centro do Estado em regiões próximo as cidades do Médio Paranapanema, Bauru, Mococa e Taubaté. Na

parte Oeste onde ficam as cidades do Pontal do Paranapanema, Noroeste e Norte foram indicadas regiões inaptas, como também a parte costeira. Na ***Figura 30*** é analisada a distribuição em área e porcentagem do PI de aptidão climática.

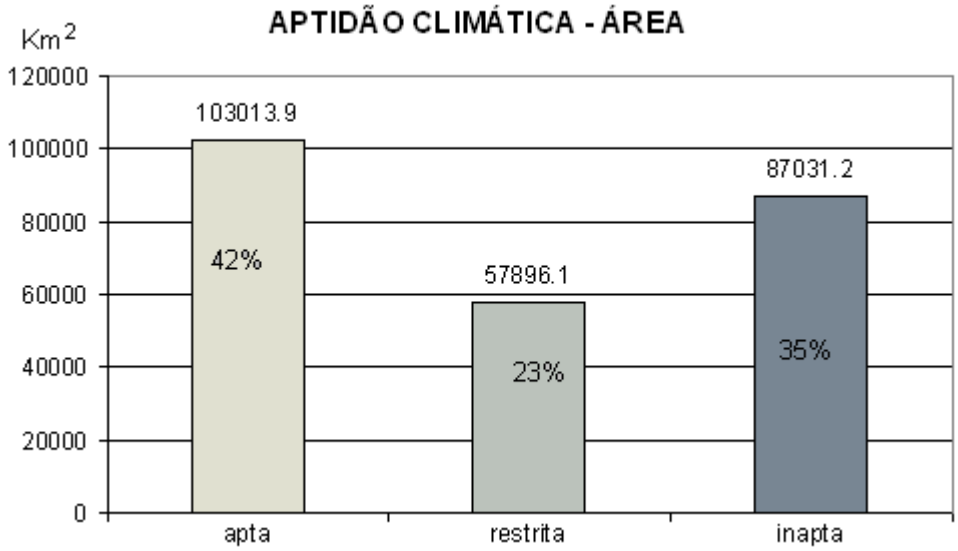


Figura 30 - Distribuição das áreas e porcentagem das classes do PI de Aptidão Climática.

Zoneamento (PI profundidade x PI aptidão climática)

Para a geração do PI de aptidão geral foi feito o mesmo procedimento do PI de aptidão climática. O PI de profundidade foi gerado a partir de uma reclassificação das classes de solo de acordo com sua profundidade efetiva ficando com quatorze classes de uma reclassificação das vinte e uma do PI inicial. Com a tabulação cruzada foram sobrepostas todas as classes (quinze de profundidade e quatorze de aptidão climática), e geradas 129 classes conforme ***Figura 31***. É observado que as classes de um a quatorze não estão descritas, por estarem fora do Estado.

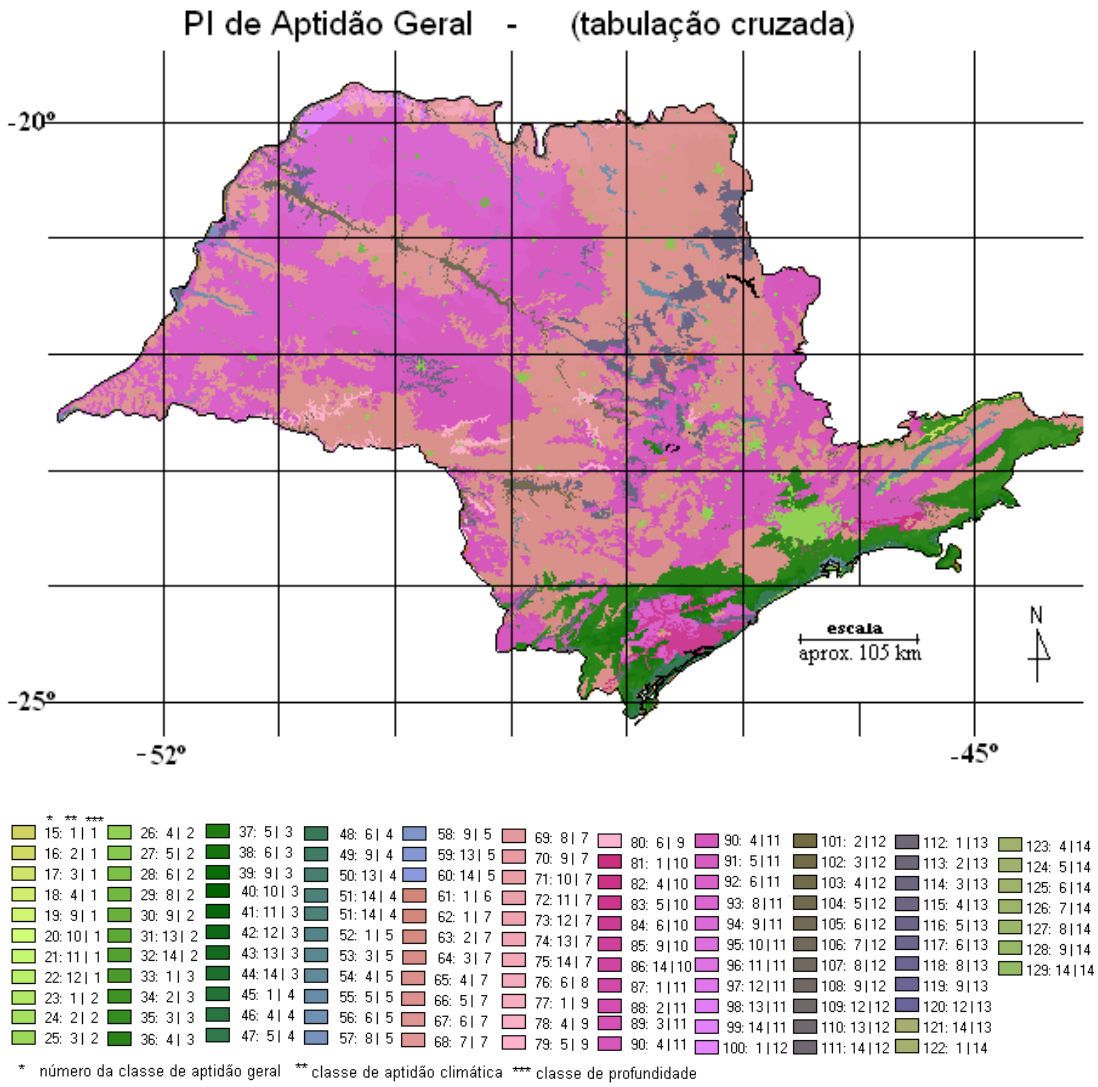


Figura 31 **-** PI de Aptidão Geral com todos as sobreposições existentes.

Das classes que obtiveram sobreposição, foram selecionadas duas representando regiões aptas, seis classes de regiões restritas, quatorze classes com valores fora do Estado, e o restante para as regiões inaptas. No ***Quadro 10*** é assinalado com cores cinza claro e cinza escuro as classes aptas e restritas, e em branco estão as inaptas.

Quadro 10 – Seleção das classes de aptidão geral (profundidade X clima)

C/P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1/0	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	*	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14
2	2/0	2/1	2/2	2/3	*	*	*	2/7	*	*	*	2/11	2/12	2/13	*
3	3/0	3/1	3/2	3/3	*	3/5	*	3/7	*	*	*	3/11	3/12	3/13	*
4	4/0	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	*	4/7	*	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13	4/14
5	5/0	*	5/2	5/3	5/4	5/5	*	5/7	*	4/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14
6	6/0	*	6/2	6/3	6/4	6/5	*	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14
7	7/0	*	*	7/3	*	*	*	7/7	*	*	*	*	7/12	*	7/14
8	8/0	*	8/2	8/3	*	8/5	*	8/7	*	*	*	8/11	8/12	8/13	8/14
9	9/0	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5	*	9/7	*	*	9/10	9/11	9/12	9/13	9/14
10	10/0	10/1	*	10/3	*	*	*	10/7	*	*	*	10/11	*	*	*
11	11/0	11/1	*	11/3	*	*	*	11/7	*	*	*	11/11	11/12	*	*
12	12/0	12/1	*	12/3	*	*	*	12/7	*	*	*	12/11	12/12	12/13	*
13	13/0	*	13/2	13/3	13/4	13/5	*	13/6	*	*	*	13/11	13/12	*	*
14	14/0	*	14/2	14/3	14/4	14/5	*	14/6	*	*	*	14/11	14/12	14/13	14/14

* classes que não se cruzaram; **C** = aptidão climática (vertical) **P** = profundidade (horizontal)

#classe fora do Estado; # classes das regiões aptas; # classes das regiões restritas.

A classe apta do PI de aptidão geral é formada pelas classes quatro do PI de aptidão climática com a sobreposição da classe quatro e onze de profundidade, equivalendo respectivamente ao melhor nível de caracterização de cada tema representado no ***Quadro 11***. O intervalo da classe restrita é a sobreposição da classe sete de aptidão climática com as classes três e cinco do PI de profundidade.

Quadro 11 – Classes de aptidão climática e profundidade

Classes de Aptidão Climática						Classes de profundidade								
Apta	4	8	11			Apta	4							
Restrita	7					Restrita	3	5						
Inapta	1	3	5	9	10	Inapta	2	6	8	10	11	12	13	14
Fora Estado	2	12	6			Não agric.	1	7	9					

Na ***Figura 32*** é percebida a distribuição territorial das classes do PI de Aptidão Geral, abrangendo as limitações térmicas, hídricas e edáficas. A região apta é localizada nas proximidades das cidades de Mococa, São João da Boa Vista,

Taubaté e Campinas, e ao seu redor estão os limites restritos se estendendo até as cidades de São José do Rio Preto e Araraquara. A região inapta está na área Noroeste e faixa costeira do Estado.

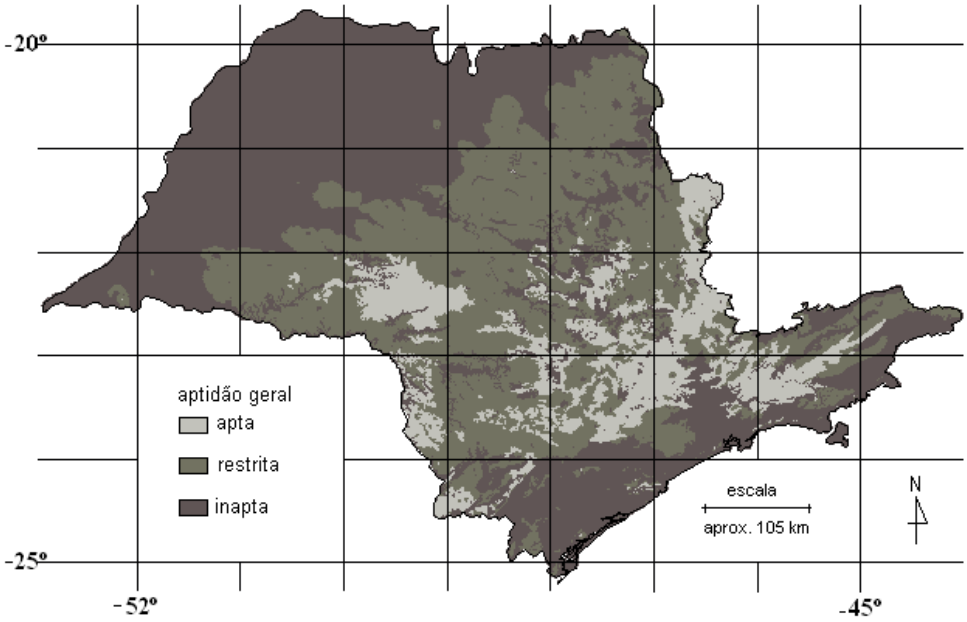


Figura 32 – PI de Aptidão Geral.

A quantificação das áreas em quilômetro quadrado é visualizada na ***Figura 33*** em que a classe apta totaliza 13%, a restrita 39%, e a inapta 48%. As classes foram selecionadas de acordo com a "lei do mínimo", ou seja, bastava apenas um único fator limitante para caracterizar um degrau abaixo. No PI descrito na ***Figura 32***, o resultado foi rígido, pois se buscou a principal limitação de cada variável, hídrica e térmica junto com a profundidade efetiva do solo.

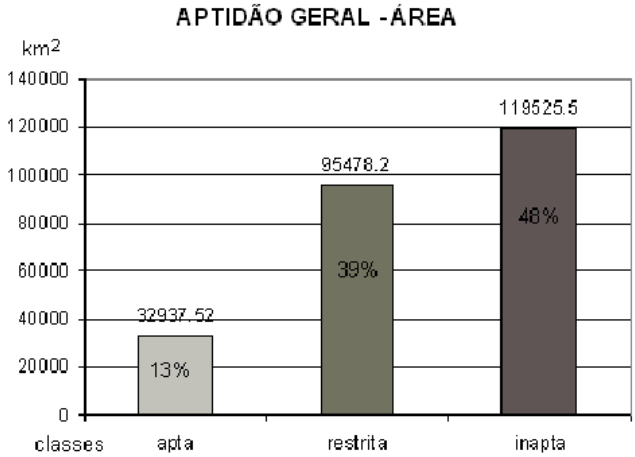


Figura 33 – Gráfico de áreas e porcentagens do PI de Aptidão Geral.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido visando à obtenção de um banco de dados para auxiliar no planejamento de áreas agrícolas do Estado de São Paulo. A partir dos resultados deste trabalho, obtidos por métodos selecionados no desenvolvimento da pesquisa, pode-se indicar as seguintes questões:

a) A compatibilidade estrutural dos diversos temas foi embasada em pressupostos cartográficos espelhando a segurança na manipulação dos dados. O resultado do cruzamento dos PI formaram novos temas, que no teste com a cultura do café revelaram áreas em que já se desenvolvem a planta, havendo uma boa resposta quanto o seu fácil ou difícil trato.

Para a atualização dos dados e/ou inserção de uma nova cultura para a realização de um novo mapeamento, é necessário saber quais os critérios de limitação da planta. Com o banco de dados já montado e dependendo dos atributos exigidos, esse procedimento é relativamente rápido.

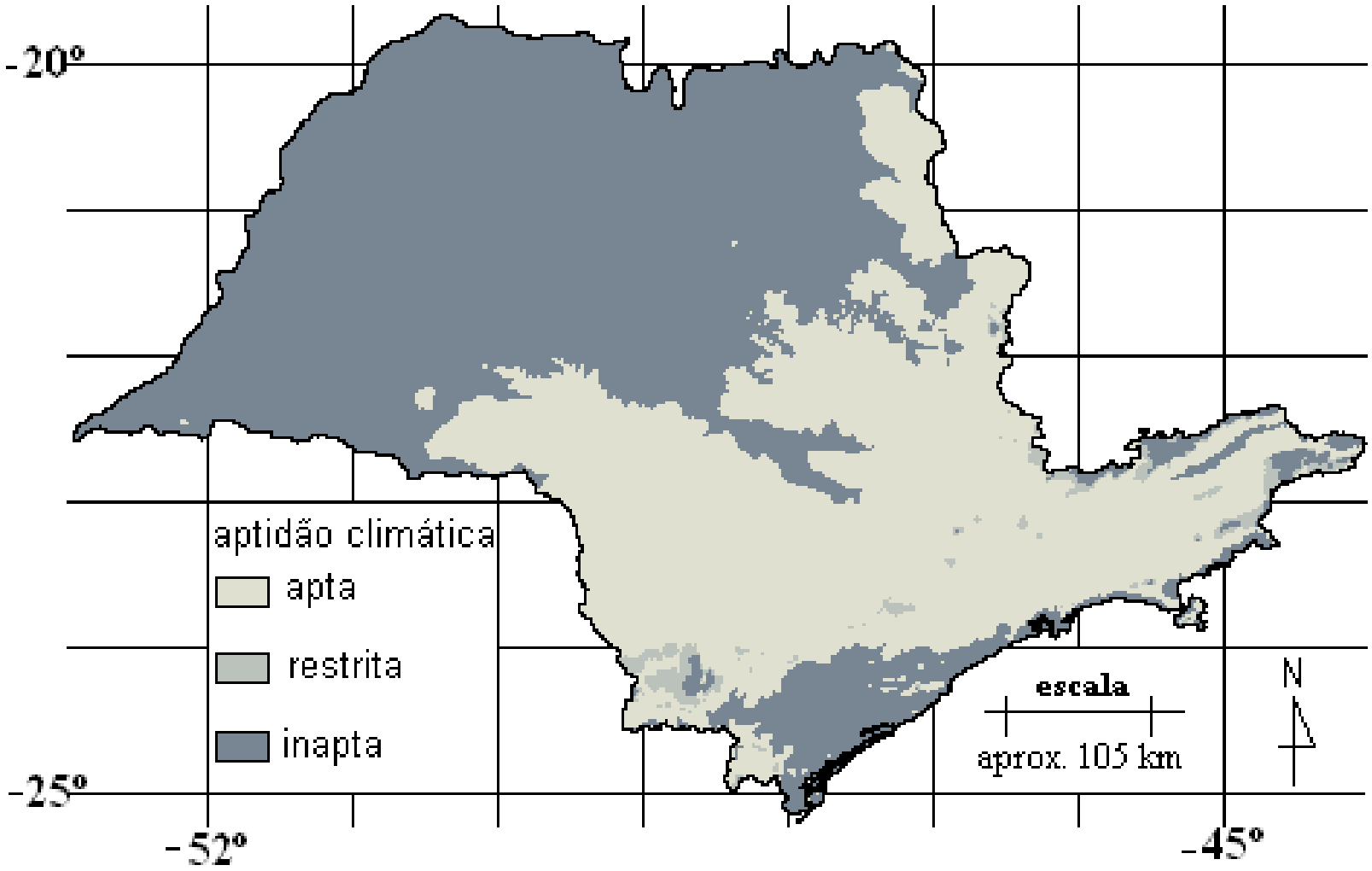
b) Em estudos com escala estadual, os dados referentes aos solos necessitam de outros mapeamentos para abranger outros atributos que são significativos para as culturas e não foram possíveis fazer parte deste banco de dados. De acordo com o tipo de solo e a região há várias associações de características referentes a esse tipo de dado, necessitando um mapeamento por classe de solo dos atributos referentes à classe de pedregosidade, fertilidade e erosão. No caso da profundidade efetiva, por ser um dado limitante referente ao desenvolvimento das raízes, formou-se um PI decisivo para geração da aptidão geral para a cultura do café.

c) As metodologias para a obtenção do banco de dados e processamento para a formação dos PI de aptidão climática, profundidade e aptidão geral mostraram-se tecnicamente aceitáveis em relação a zoneamentos já realizados no Estado de São Paulo.

Na ***Figura 34*** verifica-se visualmente, sem valores numéricos de imagem, pois os mapas dos Zoneamentos de 1696 estão disponíveis analogicamente, a sobreposição do PI de “aptidão climática” ano de 2003, com a “viabilidade climática

para o cafeeiro” ano de 1969. Ambos organizados com dados climatológicos refletiram a disposição do cultivo do café. A análise visual da sobreposição dos dois mapas revelou a intersecção da classe apta e restritas. Salvo as diferenças de classes dos dois mapas (um tem 12 classes e o outro tem 3 classes) é percebido uma concordância do centro dos dois mapas, parte noroeste e linha litorânea.

No Estado de São Paulo, pelos resultados obtidos, 13% das regiões com o cultivo do café são aptas, 39% das regiões são restritas e 48% das regiões são inaptas. Esse resultado foi bem rígido, pois foram consideradas as classes inteiras de cada tema. Podemos, no entanto, classificar com menos rigor, tolerando classes em que o índice pluviométrico possa ser restrito ou inapto no tema, com recomendações de irrigação.


-20º
-25º
-52º
-45º
aptidão climática
apta
restrita
inapta
escala
aprox. 105 km
N

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. S. Sistemas de Informações Geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., 1990, São Paulo. *Anais*... São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990. p. 66-78.

ALVES, M. R. et al. Banco de dados de informações pedológicas do Estado do Acre e sua interpretação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Guia do congressista*... Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001.

AMARAL; F. C. S. Aptidão agrícola das terras do Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Guia do congressista*... Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001.

BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic information systems for geoscientists*: modelling with GIS. Langford Lane: Pergamon/Elsevier Science, 1994. v. 13, computer methods in geosciences.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*: contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro: MA/SNPA, 1960. 634p. (boletim do serviço nacional de pesquisas agronômicas, 12).

CAMARGO, A. P. Clima do Estado de São Paulo. In: SECRETARIA DA AGRICULTURA. *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1974. p. 51-86. vol 1.

CAMARGO, A., P. Café. In: CHIARINI, J., V. et al. SECRETARIA DA AGRICULTURA. *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*, Campinas, 1977. v.2, p.31-39.

CARVALHO JÚNIOR, W. et al. *Zoneamento Pedoclimático do Estado do Paraná para cultura do arroz*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Guia do congressista...* Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.239-241.

CHAGAS, C. S. et al. Potencialidade pedoclimática para a cultura da soja (Glycine max) no Estado do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS E ÁGUA, 12., 2000, Ilhéus. *Anais*... Ilhéus: [s.n.], 2000. Cd-rom.

CHIARINI, J. V. et al. Aptidão Ecológica da Cultura do Café In: SECRETARIA DA AGRICULTURA. *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria da Agricultura. Campinas, 1977. p.31-39 v.2.

CHIARINI, J. V; DONZELI, P. L; BARBIERI, J. L**.** Aptidão das terras do Estado de São Paulo. In: SECRETARIA DA AGRICULTURA. *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1974. p. 89-105. vol 1.

DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. *Geomorfologia*, São Paulo, n.21, 1970.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L., G.; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.3, p. 445-452, 2002.

FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia,* Campinas, v.6, n.9, p.443-478, 1946.

GOEDERT, W. J. (Ed.) *Solos dos cerrados*: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina : EMBRAPA, 1987.422p.

JONES, E. *Dbase III plus*. São Paulo.: McGraw-Hill, 1987. 433p.

MINAS GERAIS. Secretaria da Agricultura de Minas Gerais. *Zoneamento Agroclimático do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CETEC, 1980. 114p.

MORETTI, E; KOFFLER, N. F.; TEIXEIRA, A. L. A. Técnicas digitais para mapeamento de declividade e orientação de vertentes baseadas no uso de sistemas de informação geográfica. *Boletim de Geografia Teorética***,** Rio Claro, v.19, p.29-52, 1989.

OLIVEIRA, J. B. *Solos do Estado de São Paulo*: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 112p.

PANDOLFO, C. Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. *Anais*... Fortaleza: SBA/FUNCEME, 2001. v.1, p.11-12.

PINTO, H. S. Impacto do aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos Estados de São Paulo e Goiás: avaliação dos cenários do IPCC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. *Anais*... Fortaleza: : SBA/FUNCEME, 2001. v.1, p.19-20.

PRADO, H. *Solos do Brasil:* gênese, morfologia, classificação e levantamento. Piracicaba: H. do Prado, 2001. 220p.

MORAES, F., P. et al. *Plano Abreu Sodré de reorganização da cafeicultura no Estado de São* Paulo Ministério da Agricultura – Secretaria da Agricultura, São Paulo,1969, 79p.

ROSS, J. L. S; MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.* São Paulo: FFLCH / USP / IPT / FAPESP, 1997. mapas e relatório.

RUGG, R. D. A feature-based planning support system. *Computers, Environment and Urban Systems*, New York, v.16, n. 2, p. 219-226, 1992.

RUSSO JUNIOR, M. *Dados climáticos auxiliares para planejamento e projeto de sistemas de irrigação.* São Paulo: CESP, 1980. 13p. mapas.

SERRA FILHO, R.; CAVALLI, A. C. Surveying and automatic mapping of São Paulo State, Brazil: a geographic information system with emphasis on land use. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY PHTOGRAMMETRY THEODOLITE TO SATELLITE, 51., 1985, Washington. *Technical Papers*... Falls Chuch: American Society Phtogrammetry, 1985. vol.1

SILVA, A. B. *Sistema de Infomações Geo-referenciadas*: conceitos e fundamentos. Campinas: Editora da UNICAMP, 1999. 236 p.

VALENZUELA, C. R. Data analysis and models In: BELWARD, A. S.; VALENZUELA, C. R. *Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. v.1. p. 335-48. (euro courses remote sensing)

VALERIANO, M. M. *Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem da perda de solos.* 1999. 172f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de São Paulo, Faculdade de Geociências e Meio Ambiente, Rio Claro.

VALERIANO, M. M.; PICINI, A. G. Uso de sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo**.** *Revista Brasileira de Agrometereologia*, Santa Maria, v.8, n.2, p.255-262, 2000.

VALERIANO, M. M.; PICINI, A. G.; MELLO, M. H. A. Estratificação de efeitos anisotrópicos do relevo na geração de mapas pluviométricos por geoprocessamento. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.10, n.1, p.167 - 177, 2002.

_____. Inclusão da anisotropia do relevo para geração de mapas pluviométricos em sistemas de informação geográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. *Anais*... Fortaleza: SBA/FUNCEME, 2001. v.1. part. 1 - 2. CD-ROM.

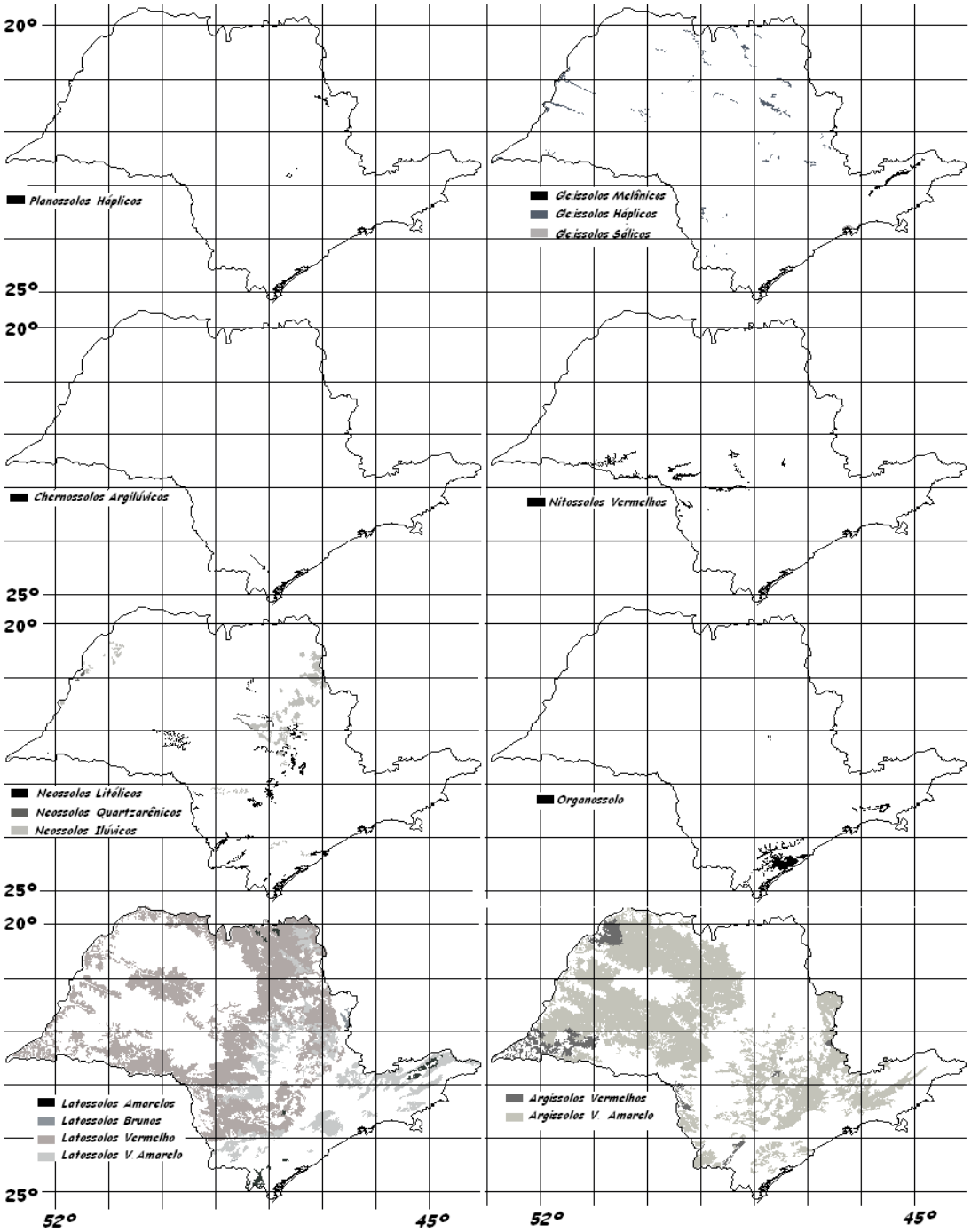
VALERIANO, M. M. et al. Formação de base topográfica digital (1:1.000.000) do Estado de São Paulo com dados RADARSAT-1. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.24, n.6, pi - pf, 2002.

WEILL, M. A. M. et al. Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeeiros (Coffea arabica L.) no oeste paulista. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.4, p.891-901, 1999.

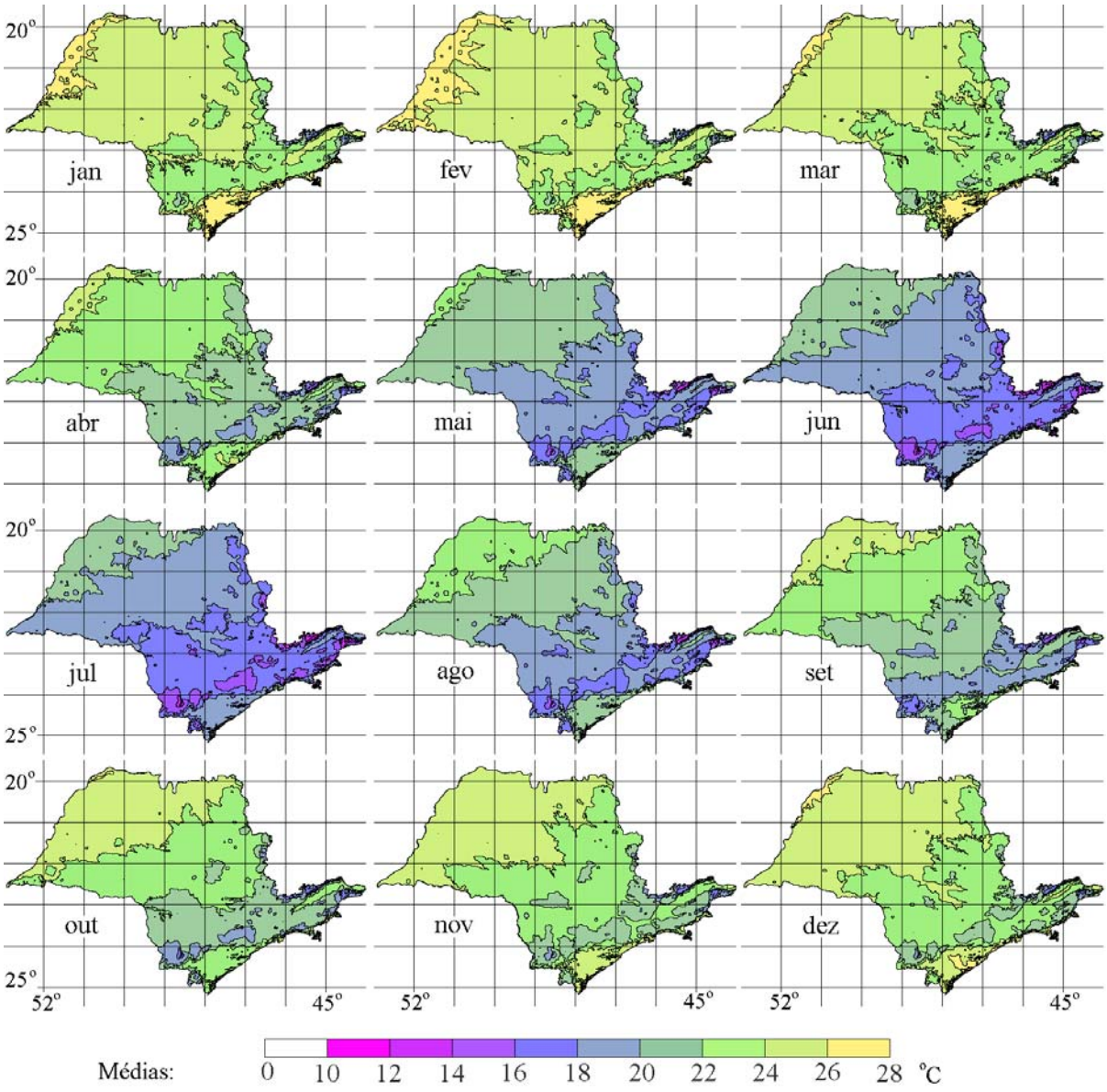
www.concar.ibge.sp.br – Normas Cartográficas, IBGE - Rio de Janeiro, acesso em julho de 2002.

7. APÊNDICES

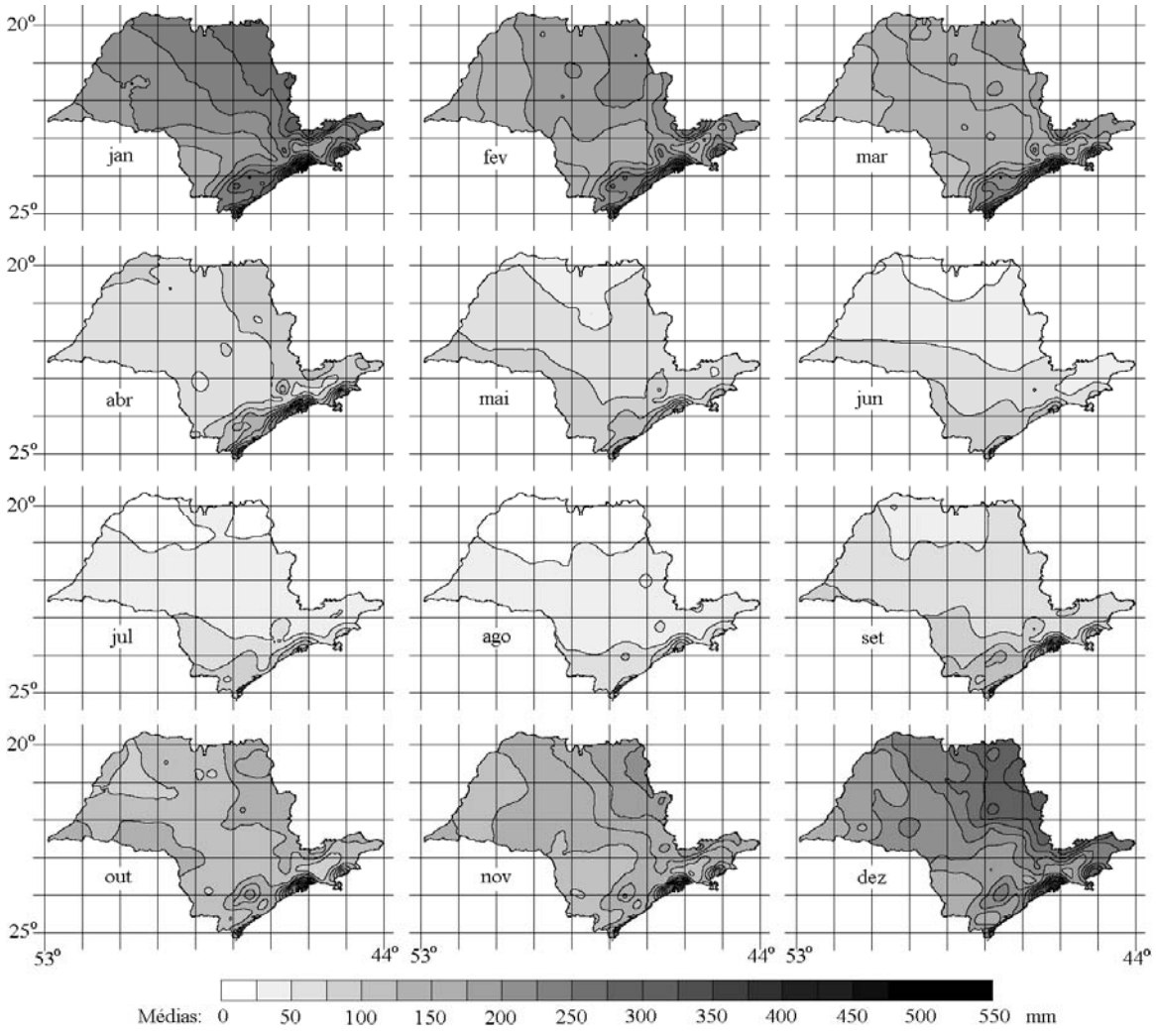
***Apêndice A* –** Grupos de solos do Estado de São Paulo



Apêndice B – Mapas de médias mensais de temperatura do ar, estratificados em classes de 2°C.

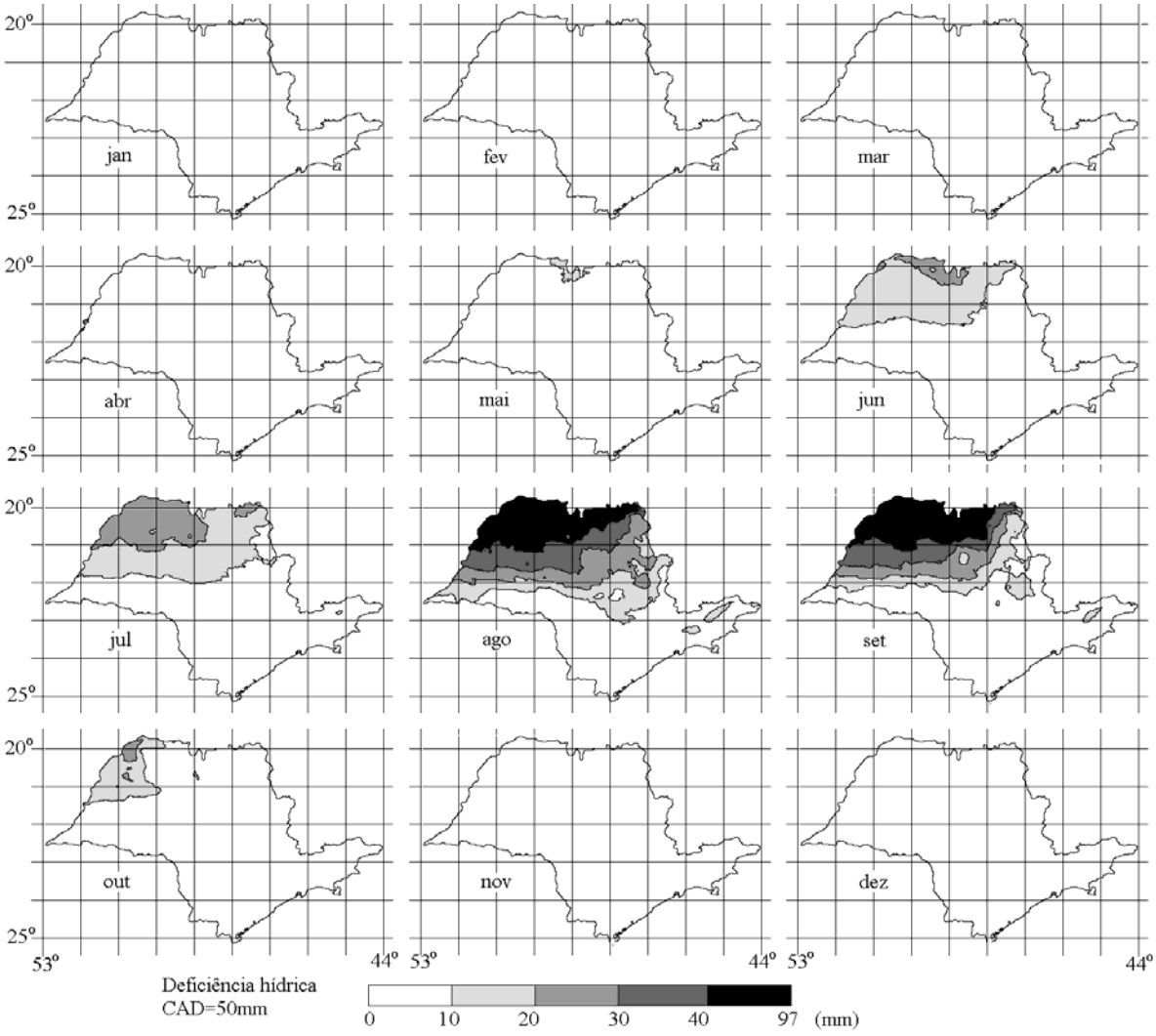


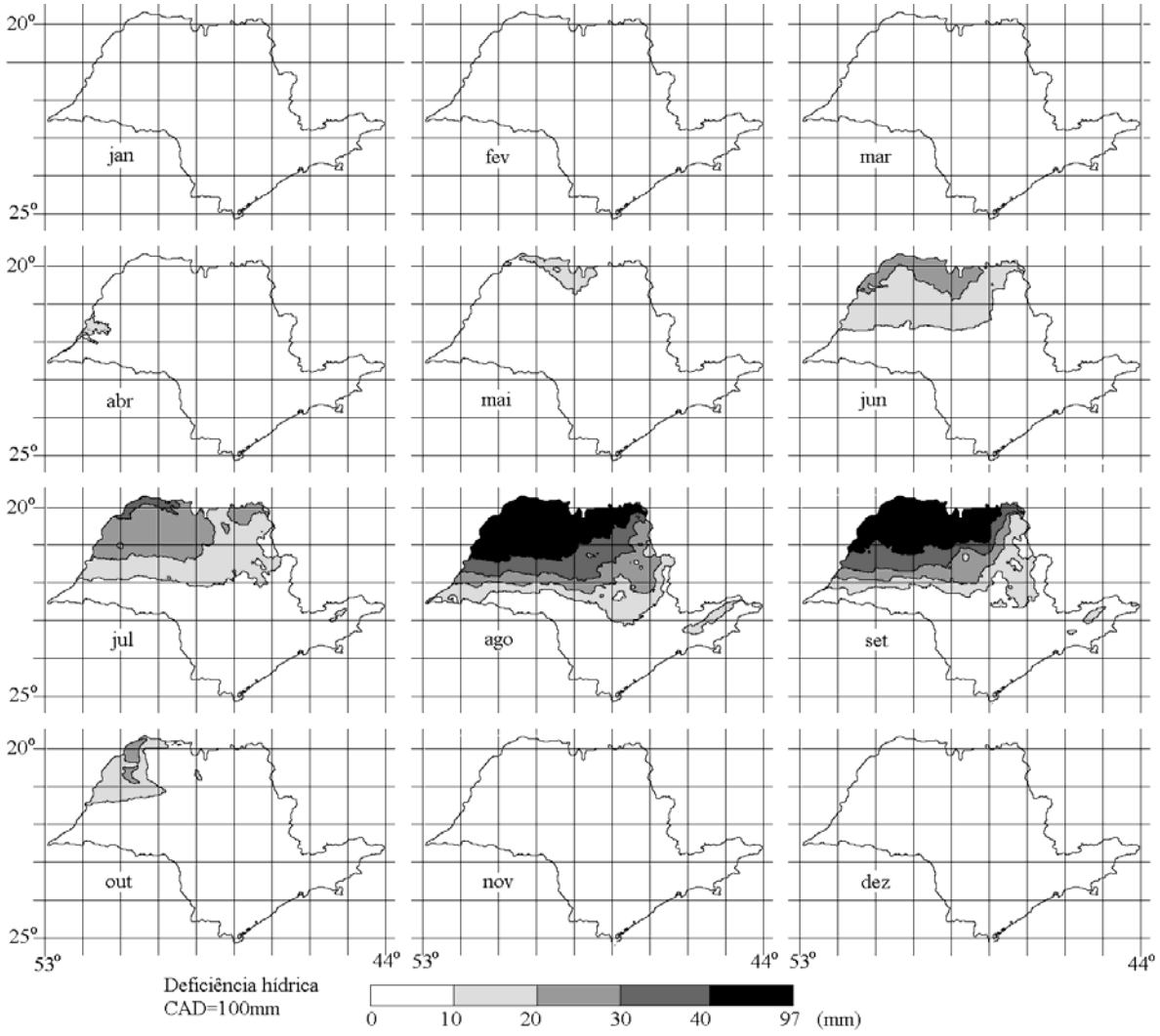
Apêndice C - Mapas de precipitação pluvial média mensal do Estado de São Paulo estratificados em classes de 50 mm.

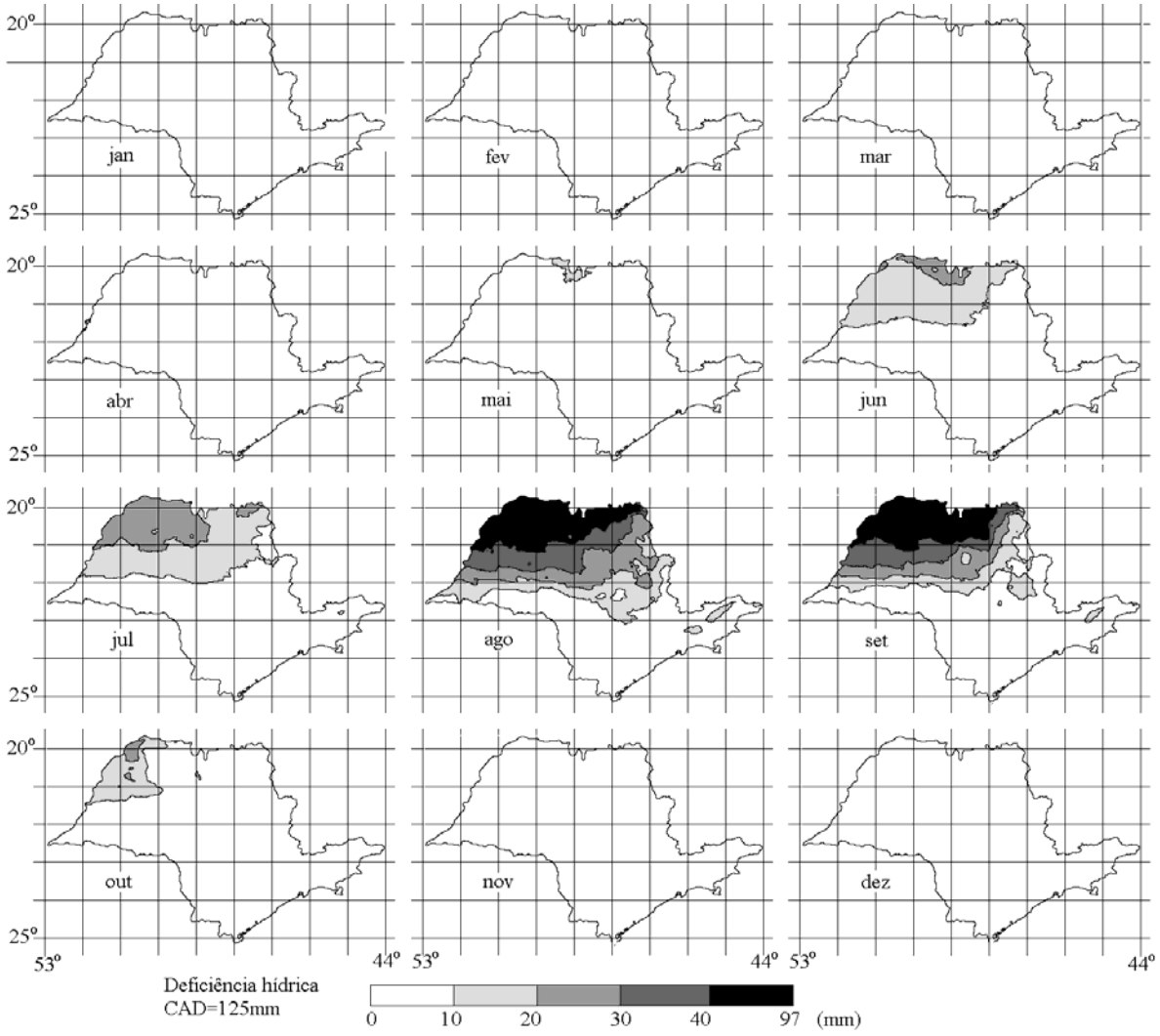


***Apêndice D*:** PI de Deficiência Hídrica para CAD de 50 mm, 100mm e 125 mm.

Os processamentos dos dados do Balanço Hídrico foram feitos pelo orientador deste trabalho, Dr. Márcio de Morisson Valeriano (**Algoritmo para cálculo do Balanço Hídrico com modelos digitais de informações climatológicas**, Algoritmo para operação de imagens digitais das variáveis médias mensais de temperatura e precipritação para geração de imagens digitais e mapas das variáveis agroclimatológicas do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather -1955), mas ainda não se encontram publicados, pois estão em preparação. Junto ao PI de deficiência Hídrica foram processados os PI para as várias CAD referente a armazenamento, evapotranspiração real, excedente hídrico e a deficiência hídrica.




20°
25°
jan
fev
mar
abr
mai
jun
jul
ago
set
out
nov
dez
53°
44°
Deficiência hídrica
CAD=100mm
0
10
20
30
40
97
(mm)


20°
25°
jan
fev
mar
abr
mai
jun
jul
ago
set
out
nov
dez
53°
44°
Deficiência hídrica
CAD=125mm
0
10
20
30
40
97
(mm)