Patrícia Marques Ferreira

**Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco
para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense* (Acari:
Ixodidae) no Município de Piracicaba, SP**

São Paulo

2006

Patrícia Marques Ferreira

**Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco
para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense* (Acari:
Ixodidae) no Município de Piracicaba, SP**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Medicina Veterinária

Departamento:

Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal

Área de concentração:

Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Ferreira

São Paulo

2006

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T.1638
FMVZ

Ferreira, Patrícia Marques

Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) no Município de Piracicaba, SP / Patrícia Marques Ferreira. – São Paulo : P. M. Ferreira, 2006.
94 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal, 2006.

Programa de Pós-graduação: Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses.

Área de concentração: Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Ferreira.

1. Geoprocessamento. 2. Carrapato. 3. *Amblyomma cajennense*.
4. Risco. I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"
Comissão Bioética

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado "Mapeamento de áreas de risco para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense*", protocolo nº 314/2003, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Fernando Ferreira, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da Comissão de Bioética da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo e foi aprovado "ad referendum".

(We certify that the Research "Mapping risk areas for human infestation by *Amblyomma cajennense*" protocol number 314/2003, under the responsibility of Prof. Dr. Fernando Ferreira, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by Biotic Commission of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechny of University of São Paulo and was approved "ad referendum").

São Paulo, 22 de maio de 2003

Profª Drª Júlia Maria Matera
Presidente da Comissão de Bioética
FMVZ/USP

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: FERREIRA, Patrícia Marques

Título: Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) no Município de Piracicaba, SP

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Medicina Veterinária

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Aos meu pais, Ana Maria e José Paulo,
por cada sonho, por cada lápis, por tantas tias...

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Fernando Ferreira pela paciência, dedicação e incentivo ao longo da pós-graduação.

Aos Professores José Soares Ferreira Neto, Marcos Amaku e Ricardo Augusto Dias pela amizade e por compartilharem seus conhecimentos.

Ao Professor Sílvio Arruda Vasconcellos pela preocupação e incentivo.

Ao Professor Marcelo Bahia Labruna sempre disposto a ajudar em todas as etapas desse projeto e pelo preenchimento da matriz de comparação.

À Professora Eliana Reiko Matushima e ao Professor Luciano Martins Verdade pelo incentivo.

À bióloga Katia Ferraz pela ajuda no trabalho de campo e confecção do modelo preditivo para distribuição de capivaras, sempre com otimismo e bom humor. Ao Silvio Ferraz pela hospedagem e paciência.

Ao Professor Gerd e Alberto Barreto por ceder os dados do Atlas rural de Piracicaba.

À Dra Gláucia Perecin diretora da Vigilância Epidemiológica da DIR XV- Piracicaba, pelo interesse em dar continuidade a este estudo.

À Dra Márcia Viviane Ferrazzo Liva, diretora da Vigilância Epidemiológica Municipal por ceder os dados das Fichas de Investigação Epidemiológica.

À bióloga Regina Engel do Centro de Controle de Zoonoses por ter gentilmente me acompanhado nas visitas ao local de provável infecção dos casos confirmados.

Ao engenheiro agrônomo Eduardo Basso da Casa da agricultura por ter gentilmente me acompanhado nas visitas às propriedades.

Aos amigos Virgínia, Cristina, Jucélia, Sandrinha, Cris, Jú Suieko, Mônica, Zélia, Rita, Laura, Aline, Iara, Tonhão, Bispo, Pedrinho, Alê, Danival, Mogli, Pancho e Paulo, entre outros do VPS, tantos pela ajuda, incentivo, agradável convivência e boas risadas.

Aos amigos Maurício e Adriano por esclarecerem um milhão de dúvidas pacientemente, sempre com muito bom humor. Além disso, agradeço pelo preenchimento da matriz de comparação.

Às meninas da biblioteca, Mara, Ana, Elena, Elza e Solange pelo carinho, paciência e ajuda indispensável.

À Dayse da Secretaria de pós-graduação por toda ajuda dispensada.

Aos Marcelinos e suas famílias, não vou citá-los para não correr o risco de esquecer alguém. Aí, já viu...

Aos queridos amigos Zezé, Evelise, e Giulia pela amizade e carinho.

Às queridas amigas Catia e Silvia por sempre estarem presentes, dispostas a ajudar no possível e impossível, acreditando nos sonhos e incentivando as maiores tolices.

À Júlia e Mariana por me permitirem participar de suas vidas, num mundo onde tudo é bem mais divertido.

À minha segunda família, Angélica, Regina e Mariana, simplesmente por existir, ser um exemplo de força e motivo de orgulho. Em especial a Angélica pelas as broncas e carinho ao longo de nossa inexplicável amizade...

A minha irmã Cacá, por me mostrar sempre um caminho mais simples para seguir a vida.

Ao Léo e a Taz por alegrarem minha vida quase todos os dias...

RESUMO

FERREIRA, P. M. **Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) no Município de Piracicaba, SP.** [Use of geoprocessing techniques to identify risk areas for human infestation by *Amblyomma cajennense* in Piracicaba, SP]. 2006. 94 f. Tese (Doutorado Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Utilizou-se técnicas de geoprocessamento e imagens geradas pelo Sistema Landsat 7 - ETM+, para identificar áreas favoráveis ao crescimento das populações de *Amblyomma cajennense* e, conseqüentemente, o risco de infestação humana pelo carrapato no Município de Piracicaba, São Paulo, Brasil. As imagens de satélite permitiram determinar os valores de temperatura e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que, em associação com as variáveis, densidade de eqüinos e modelo preditivo de distribuição de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), foram utilizadas para construir um modelo de risco multivariado identificando assim áreas favoráveis ao crescimento de populações do carrapato. Verificou-se que a população humana exposta às regiões altamente desfavoráveis ou desfavoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* é de, no mínimo, 70,14% podendo chegar a 96,16%. Por outro lado, de 0,04% a 15,23% da população está exposta a áreas favoráveis ou altamente favoráveis ao longo do ano

Palavras-chave: Geoprocessamento. Carrapato. *Amblyomma cajennense*. Risco

ABSTRACT

FERREIRA, P. M. **Use of geoprocessing techniques to identify risk areas for human infestation by *Amblyomma cajennense* in Piracicaba, SP.** [Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco para infestação humana pelo *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) no Município de Piracicaba, SP]. 2006. 94 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Geoprocessing techniques and Landsat 7 – ETM+ images were used to identify suitable areas for the development of *Amblyomma cajennense* populations and the resulting risk of human infestation by that tick in Piracicaba, São Paulo, Brazil. Temperature and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were calculated based on satellite images, and those data were later associated with horse density and a predictive model of spatial distribution of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) to build a multi-variant risk model. It was observed that the human population exposed to extremely unsuitable or unsuitable areas ranges from 70.14% to 96.16%. On the other hand, 0.04% to 15.23% of the human population is exposed to suitable or extremely suitable areas throughout the year.

Key-words: Geoprocessing. Tick. *Amblyomma cajennense*. Risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casos notificados de febre maculosa no Estado de São Paulo de 1985 a 2005.....	23
Figura 2 – Localização da área de estudo (Município de Piracicaba, São Paulo, Brasil).....	30
Figura 3 – Comportamento espectral da vegetação, da água e do solo	36
Figura 4 – Exemplo de imagem Landsat 7 do Município de Piracicaba, composição colorida RGB (543)	42
Figura 5 – Curvas de nível e pontos cotados	46
Figura 6 – Distribuição das propriedades que possuem eqüinos	47
Figura 7 – Distribuição dos sítios de estudo visitados	51
Figura 8 – Índice de Umidade, 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002.....	61
Figura 9 - NDVI, 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002	63
Figura 10 – Temperatura em graus Celsius (°C), 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002	65
Figura 11 – Mapa hipsométrico	66
Figura 12 - Densidade de eqüinos (animais/ha) segundo setor censitário.....	67
Figura 13 – Modelo preditivo de distribuição espacial da capivara.....	68
Figura 14 – Modelo para transformação e normalização da variável temperatura	71

Figura 15 – Modelo para transformação e normalização da variável NDVI.....	71
Figura 16 – Áreas favoráveis ao crescimento de populações de <i>A. cajennense</i> , 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002	74
Figura 17 - Uso e cobertura da terra	75
Figura 18 - Distribuição dos LPIs dos casos confirmados de febre maculosa até dezembro de 2005.....	78
Figura 19 – Ampliação da região de distribuição do LPI dos casos confirmados de FMB até dezembro de 2005 e áreas favoráveis ao crescimento de populações de <i>A. cajennense</i> , 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002.....	80
Figura 20 – Densidade demográfica humana (indivíduos/km ²) segundo os setores censitários.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Descrição das bandas registradas pelo sistema Landsat 7.....	35
Quadro 2 - Escala de comparação de critérios.....	54
Quadro 3 – Índice de aleatoriedade para diferentes valores de n	56
Quadro 4 – Grau de adequação ao crescimento de populações de <i>A. cajennense</i>	56
Quadro 5 - Distribuição dos valores do coeficiente de determinação entre as variáveis NDVI e MI para as diferentes imagens	69
Quadro 6 – Matriz de comparação par a par das variáveis	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 05 de janeiro de 2002. São Paulo, 2006	76
Tabela 2 – Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 10 de março de 2002. São Paulo, 2006	76
Tabela 3 – Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 13 de maio de 2002. São Paulo, 2006	77
Tabela 4 - Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 17 de agosto de 2002. São Paulo, 2006	77
Tabela 5 - Distribuição do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 21 de novembro de 2002. São Paulo, 2006	77
Tabela 6 - Distribuição da porcentagem da população humana exposta às diferentes categorias nos diferentes períodos de 2002. São Paulo, 2006	82

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC	Santo André, São Bernardo e São Caetano
APP	Área de Preservação Permanente
arts.	Artigos
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced, Very High Resolution Radiometers
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CCZ	Centro de Controle de Zoonoses
CDC	Centros para o Controle e Prevenção de Doenças
CI	Índice de consistência
CR	Grau de Consistência
CVE	Centro de Vigilância Epidemiológica “Alexandre Vranjac”
EMR	Radiação Eletromagnética
EOS	Earth-orbiting Satellite
ESALQ	Escola Superior de Agronomia “Luís de Queiroz”
ETM +	Enhanced Thematic Mapper Plus
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FM	Febre Maculosa
FMB	Febre Maculosa Brasileira
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Há	Hectare
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISODATA	“Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique”
km	Quilômetros
LEA	Laboratório de Ecologia Animal
LPI	Local de Provável Infecção
LUPA	Levantamento da Unidades de Produção Agropecuária
m	Metro
MI	Índice de Umidade
MNT	Modelo Digital do Terreno
NC	Nível de Cinza
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PCLQ	Prefeitura do Campus “Luís de Queiroz”
RGB	Red, Green, Blue
RI	Índice de aleatoriedade
SAD	Datum Sul Americano
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
UBS	Unidade Básica de Saúde
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	BIOLOGIA DO VETOR A. CAJENNENSE	24
1.2	A CAPIVARA.....	27
1.3	O MUNICÍPIO DE PIRACICABA E A FEBRE MACULOSA	29
1.4	IDENTIFICAÇÃO DE HABITATS FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DE POPULAÇÕES DE A. CAJENNENSE	33
2	OBJETIVOS	40
2.1	OBJETIVO GERAL	40
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
3	MATERIAL E MÉTODO	41
3.1	DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS	41
3.1.1	Determinação do Índice de Umidade (MI)	42
3.1.2	Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	43
3.1.3	Determinação da Temperatura de Superfície	44
3.1.4	Determinação da Altitude	45
3.2	CÁLCULO DA DENSIDADE DE EQUINOS	46
3.3	MAPEAMENTO ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE CAPIVARAS	48
3.3.1	Modelo de distribuição potencial	48
3.3.2	Seleção dos sítios de estudo	50
3.4	MODELO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DE POPULAÇÕES DE A. CAJENNENSE.....	51

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	59
4.1.1	Índice de Umidade (MI)	59
4.1.2	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	62
4.1.3	Temperatura de Superfície	64
4.1.4	Altitude	66
4.2	DENSIDADE DE EQUINOS.....	67
4.3	ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE CAPIVARAS	68
4.4	MODELO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DE POPULAÇÕES DE A. CAJENNENSE.....	69
5	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	85
	ANEXOS	91

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, de todas as causas de mortalidade em humanos, o maior percentual deve ser atribuído ao conjunto de causas de origem infecciosa. As doenças infecciosas concentraram, até meados do século XX, grande parte dos esforços das autoridades de saúde pública no sentido de reduzir o seu impacto sobre a população. Nesse período, o desenvolvimento tecnológico e científico foi responsável pelo aparecimento de drogas antimicrobianas, vacinas e inseticidas destinados ao controle de vetores, gerando um otimismo em relação à possibilidade de controle das doenças infecciosas. A eficácia inicial desses produtos foi tão grande que se acreditou que as doenças infecciosas seriam um problema resolvido e que as ações de saúde coletiva deveriam ser redirecionadas para as doenças de origem não infecciosa (YEKUTIEL, 1980).

Assim, nas décadas de 1940 e 1950 deu-se início a grandes campanhas para o controle de diversas doenças, destacando-se a campanha mundial de erradicação da malária e as campanhas contra a febre amarela e sífilis. Entretanto, o surgimento de populações de vetores resistentes aos inseticidas, os custos sempre crescentes das campanhas e o não cumprimento dos cronogramas fez com que o entusiasmo inicial se dissipasse (YEKUTIEL, 1980), apesar do impacto positivo que as novas drogas e inseticidas produziram sobre a mortalidade provocada pelas causas infecciosas (CDC, 1998).

Nesse sentido, a série histórica da taxa de mortalidade por doenças infecciosas nos Estados Unidos no período de 1900 a 1994 demonstra a reversão da tendência decrescente no período de 1980 a 1994 (CDC, 1998). Neste período, verificou-se um aumento de 58% na taxa de mortalidade, o que representa o ressurgimento das doenças infecciosas como causa importante de mortalidade na população humana dos países ricos, uma vez que nos países pobres elas nunca deixaram de ter importância. Esse aumento pode ser explicado pela seleção de agentes resistentes às drogas existentes, pelo aparecimento de novos ou já conhecidos agentes, porém com fatores de patogenicidade¹ e virulência² diferenciados, e por mudanças ambientais e demográficas que contribuem para o aparecimento de novas doenças (CDC, 1998).

A urbanização desordenada, o crescimento e adensamento populacional, a migração e a ocupação de áreas próximas à mata são conseqüências de mudanças econômicas e sociais que têm contribuído para o estreitamento do contato humano com florestas tropicais e outros ecossistemas selvagens que servem de abrigo para animais e insetos carreadores de microorganismos, favorecendo assim a disseminação de agentes infecciosos antes endêmicos ou restritos aos reservatórios e vetores silvestres (CDC, 1998).

As doenças provocadas por agentes novos ou já conhecidos que apresentem maior patogenicidade e/ou virulência recebem o nome de doenças emergentes e reemergentes, respectivamente (MORSE, 1995). Muitas doenças consideradas emergentes e reemergentes são transmitidas por artrópodes que têm sua população aumentada em decorrência de alterações no habitat que

¹ Capacidade do agente de causar a doença em um hospedeiro suscetível.

² Habilidade de um agente se multiplicar enquanto induz a doença.

favorecem a sua reprodução. Assim, a doença de Lyme surgiu nos Estados Unidos e Europa, provavelmente, devido ao reflorestamento que favoreceu o aumento da população de cervos e, conseqüentemente, da população de carrapatos. Este fato, associado ao movimento de pessoas para estas áreas em decorrência dos novos hábitos, expôs grande parte da população humana ao contato com populações vetoras (MORSE, 1995).

Outras manifestações mais recentes de desequilíbrio ecossistêmico incluem o aumento da incidência de esquistossomose devido à construção da Represa Aswan no Egito, o aumento da incidência de malária, esquistossomose e outras doenças infecciosas após o enchimento do Rio Volta na África, o aumento na incidência de malária em conseqüência da limpeza do solo para o plantio de seringueiras na Malásia e o aumento de doenças transmitidas por vetores devido à construção de rotas de transporte no Brasil (MAYER, 2000).

Atualmente, quase metade da população mundial habita regiões tropicais ou temperadas onde podem estar sob o risco de uma ou mais doenças transmissíveis por artrópodes (WASHINO et al., 1994). O conhecimento dos fatores de risco para o desenvolvimento dessas doenças permite o mapeamento de zonas de risco, o que pode contribuir na prevenção e controle, uma vez que permite delinear intervenções com o objetivo de reduzir as populações vetoras, controlar as populações de reservatório e implementar ações de vigilância epidemiológica (CDC, 1998).

O diagnóstico de zoonoses emergentes em populações rurais e, até mesmo, urbanas tornou imprescindível o estudo dessas doenças no ambiente silvestre. O Centro para Controle e Prevenção de Doenças (CDC) recomenda que, na prevenção de doenças emergentes, os agentes de saúde se antecipem

à ocorrência dos casos desenvolvendo pesquisas que permitam identificar áreas de risco e desenvolver estratégias de ação para minimizar esse risco (CDC, 1998).

No Brasil a febre maculosa brasileira (FMB) é uma zoonose reemergente de grande importância, cujo o agente é uma bactéria Gram negativa intracelular obrigatória, a *Rickettsia rickettsii* (CVE, 2002). Até dezembro de 2005 foram confirmados casos de febre maculosa (FM) nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Santa Catarina e São Paulo. A doença foi descrita pela primeira vez no Estado de São Paulo em 1929 (DIAS et al., 1939), sendo que no período de 1957 a 1982, 63 casos foram registrados no Hospital Emílio Ribas provenientes de municípios vizinhos à capital, como Mogi das Cruzes, Diadema e Santo André, (DEL GUERCIO et al., 1997). Seguindo orientação do Ministério da Saúde, a partir de 2002 a FMB passou a ser considerada doença de notificação compulsória no Estado de São Paulo (CVE, 2002). Observando-se a dados disponibilizados pelo Centro de Vigilância Epidemiológica “Alexandre Vranjac” (CVE), no Estado de São Paulo (ANEXOS A e B) verifica-se a existência 36 casos notificados em 6 municípios no período de 1985 a 1997 e, no período de 1998 a 2005, 161 casos em 35 municípios. A distribuição espacial desses casos é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Casos notificados de febre maculosa no Estado de São Paulo de 1985 a 2005

Desde 1985, alguns casos vêm sendo descritos no Município de Pedreira, localizado a 160 quilômetros da capital do Estado de São Paulo, sendo que oito casos clínicos foram confirmados e uma amostra de riquetsia do grupo da FM foi detectada em *A. dubitatum* (LEMOS et al., 1997), antigo *A. cooperi*. No Brasil a *R. rickettsii* foi devidamente caracterizada em carrapatos do gênero *Amblyomma*, sendo o *A. cajennense* e o *A. aureolatum* as principais espécies envolvidas na epidemiologia da doença no país. (DIAS; MARTINS, 1939; PHILIP, 1978; PINTER, 2003). A manutenção do agente na natureza se deve, dentre outros fatores, à transmissão transovariana e transestadial da bactéria no carrapato, o que permite que permaneça infectado ao longo de sua vida e outras gerações após uma infecção primária. Portanto, além de vetores, os carrapatos são considerados reservatórios da riquetsia na natureza (SÃO PAULO, 2004).

Nos Estados Unidos, a febre maculosa das Montanhas Rochosas atinge cerca de 800 pessoas a cada ano. No Brasil, considera-se que haja uma

subnotificação, sendo que na maioria das vezes o diagnóstico é dificultado pela ausência de sinais clínicos característicos na fase inicial da doença, pela falta de recursos nas Unidades Básicas de Saúde (UBSs) ou mesmo pela inexperiência ou falta de treinamento dos profissionais da saúde. Na fase inicial sintomas inespecíficos como febre, dor de cabeça, dores no corpo e calafrios são freqüentes, porém a partir do 3º ou 4º dia o paciente pode apresentar exantema maculopapular (SÃO PAULO, 2004). O aumento do número de casos a partir de setembro coincide com o aumento da temperatura e chuvas, sendo a época mais propícia para encontrar estágios imaturos do carrapato (DIAS; MARTINS, 1939).

1.1 BIOLOGIA DO VETOR *A. CAJENNENSE*

Do grupo dos ixodídeos, caracterizados por possuírem escudo fortemente esclerotizado, o *A. cajennense* é um carrapato trioxeno, ou seja, necessita de três hospedeiros iguais ou diferentes para completar seu ciclo biológico. O seu ciclo de vida consiste do ovo e 3 estágios móveis e hematófagos (larva, ninfa, adulto) (GUIMARÃES et al., 2001). A espécie encontra-se amplamente distribuída desde o sul dos Estados Unidos até o norte da Argentina, incluindo as Ilhas do Caribe (WALKER; OLWAGE³, 1987 apud LABRUNA et al., 2003, p. 170). Sua distribuição esta diretamente relacionada à

³ WALKER, J. B; A. OLWAGE, A. The tick vectors of *Cowdria ruminantium* (Ixodoidea: Ixodidae, genus *Amblyomma*) and their distribution. **Onderstepoort J. Vet. Res.** v. 54, p: 353-379, 1987.

latitude e ao tipo de cobertura vegetal que influencia diretamente no microclima do solo (SÃO PAULO, 2004). Os hospedeiros primários⁴ naturais da espécie na América do Sul são a anta e a capivara, porém, entre os animais domésticos, o equino atua como hospedeiro primário (LABRUNA, 2002), sendo que, o estabelecimento de populações de carrapatos em áreas habitadas por equinos não depende da presença de outras espécies de hospedeiros. Em geral, quanto maior a população de carrapatos numa determinada área, maior a probabilidade de encontrá-lo parasitando outras espécies, inclusive o homem, principalmente nos estágios de larva e ninfa por apresentam menor especificidade parasitária (SÃO PAULO, 2004).

No Brasil, verificou-se que o *A. cajennense* completa uma geração por ano (LABRUNA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2000; SERRA-FREIRE⁵, 1982 apud LABRUNA et al., 2002, p. 67), sendo que altas taxas de infestação em equinos estão associadas à presença de ao menos um pasto sujo na propriedade, ou seja, presença de arbustos na pastagem e densidade igual ou maior que 2 indivíduos por hectare (ha) (LABRUNA et al., 2002).

No Estado de São Paulo, em estudo realizado no Município de Pirassununga (21°59'24"S, 47°25'12"O) de outubro de 1997 a setembro de 1999, demonstrou-se que a contagem de carrapatos nos equinos apresentou picos de atividade distintos para cada um dos três estágios. Os picos de larvas, vulgarmente chamada de "micuim", foram observados de abril a julho, sendo que em maio apresentou a maior contagem nos dois anos. Os picos de ninfas,

⁴ É o hospedeiro vertebrado, sem o qual, uma população de carrapatos, não é capaz de se estabelecer numa determinada localidade.

⁵ SERRA-FREIRE, N. M. S. Epidemiologia de *Amblyomma cajennense*: ocorrência estacional e comportamento dos estágios não parasitários em pastagens do Estado do Rio de Janeiro. **Arq. Univ. Fed. Rur. Rio de Janeiro**, v. 5, p. 187–193, 1982.

conhecida popularmente como “vermelhinho”, foram observados de junho a outubro, sendo que os meses de agosto e setembro apresentaram as maiores contagens. Já os picos de adultos, vulgarmente chamado de “rodoleiro” ou “carrapato-estrela”, ocorreram de outubro a março com as maiores contagens ocorrendo em fevereiro (LABRUNA, 2002). Durante seu ciclo, o carrapato permanece fixado no hospedeiro em repasto⁶ aproximadamente 5 dias no estágio de larva, 5 a 7 dias no estágio de ninfa e 10 dias no estágio adulto (GUIMARÃES et al., 2001), permanecendo aproximadamente 341 dias no ambiente.

Um fator importante no ciclo do *A. cajennense* é a diapausa comportamental de larvas, caracterizada pela inatividade de estágios não alimentados. No caso do *A. cajennense* a larva não permanece totalmente inativa, pois se desloca horizontalmente próximo ao solo. Em estudo sobre diapausa comportamental em larvas do carrapato Labruna et al. (2003) demonstraram que as larvas sincronizam a sua subida ao topo da vegetação e busca por hospedeiros por meio da diapausa que é modulada pelo fotoperíodo. Este fenômeno permite que as populações de *A. cajennense* sincronizem seus períodos de crescimento populacional com os períodos de condições climáticas mais favoráveis. Apesar de ter-se verificado a eclosão de ovos desde o início de dezembro até o início de abril, as larvas somente subiram ao topo da vegetação, iniciando a busca por hospedeiros, no final de abril e início de maio, período em que o comprimento do dia passou a ser inferior a 12 horas.

A diapausa durante o verão garante que os futuros carrapatos adultos busquem hospedeiros durante a próxima estação chuvosa (primavera/verão),

⁶ Período de alimentação.

período em que a temperatura e taxas de precipitação são maiores e mais favoráveis a oviposição e incubação dos ovos (LABRUNA et al., 2003).

1.2 A CAPIVARA

A capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) tem sido incriminada freqüentemente, em áreas onde ocorre, como responsável pelo crescimento de populações de *A. cajennense*.

A capivara é o maior roedor existente no mundo, distribuindo-se desde o Panamá até o Uruguay e Noroeste da Argentina. Sua presença está associada à existência de corpos d'água, utilizados para o deslocamento, fuga e atividades reprodutivas (NOWAK, 1991)

No Estado de São Paulo, em virtude das alterações de uso e cobertura do solo, substituição das áreas de matas ciliar por áreas agriculturáveis, o que aumentou a capacidade suporte⁷ do meio, e ausência de predadores, a espécie encontrou condições favoráveis para o seu crescimento (FERRAZ; VERDADE, 2001). Além de se alimentarem de pasto e plantas aquáticas, em áreas agrícolas os animais consomem cana-de-açúcar, milho, arroz, feijão, soja e outros itens, contribuindo para o crescimento das populações em habitats antropogênicos (FERRAZ, 2004).

Segundo Penteado (2002), desde 1996 a Gerência Executiva do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) do

⁷ Número de máximo de animais por unidade de área suportados pelo habitat.

Estado de São Paulo, tem recebido um número crescente de reclamações associadas à ocorrência de capivaras. A presença da espécie está, freqüentemente, relacionada à infestação de carrapatos, danos agrícolas e invasão de condomínios particulares (Informação verbal)⁸. Segundo Ferraz et al. (2003) a utilização racional da capivara como um recurso natural renovável pode ser rentável e reduzir seu impacto danoso e o risco de transmissão de doenças para o homem e animais domésticos.

Apesar do papel da capivara como reservatório da *R. rickettsii* não estar estabelecido, sua importância no aumento da população de carrapatos justifica a necessidade de manejo populacional. Entretanto, a simples remoção do excedente populacional sem readequação ambiental que produza a redução da capacidade suporte, poderá acelerar a taxa de crescimento da população de capivaras e, em áreas endêmicas, ocasionar um aumento na circulação do agente em decorrência da substituição de animais já expostos e, portanto, imunes por indivíduos suscetíveis. Vale salientar que, em ambientes silvestres, a densidade de hospedeiro é significativamente menor em decorrência da menor capacidade suporte e, portanto, as populações de carrapatos também tendem a ser menores (SÃO PAULO, 2004).

⁸ Informação fornecida por Penteado em São Paulo, 2002.

1.3 O MUNICÍPIO DE PIRACICABA E A FEBRE MACULOSA

A cidade de Piracicaba (Figura 2) foi fundada oficialmente em 1767, localizada à margem direita do salto, a 90 quilômetros da foz do Rio Piracicaba. Em 1784, Piracicaba foi transferida para a margem esquerda do rio, logo abaixo do salto, onde as características do terreno e a fertilidade do solo foram fatores determinantes na disputa de terras entre os fazendeiros e, conseqüentemente, na expansão do Município. A partir de 1836, houve um importante período de expansão, caracterizado pelo parcelamento de grandes latifúndios em lotes menores, destinados à produção agropecuária, sendo o Município considerado um grande centro abastecedor (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, 2004).

A sede do Município localiza-se a 22°42'30"S e 47°38'01"O, possui uma área de 1.312,30km², sendo 158,06km² correspondentes à zona urbana e 1.154,24km² correspondentes à zona rural. É uma das regiões mais produtivas e industrializadas do Estado de São Paulo, e sua economia multidiversificada, está fortemente baseada na produção agrícola e industrial, com destaque para os setores sucro-alcooleiro e metal-mecânico (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, 2004).

Figura 2 – Localização da área de estudo (Município de Piracicaba, São Paulo, Brasil)

A população é representada por cerca de 360 mil habitantes e a densidade demográfica é 239,93 habitantes/km², sendo a Taxa de Urbanização 96,42% (SEADE, 2003). A altitude média do Município é 554m e a temperatura registrada varia de 18 a 38°C, sendo a classificação climática do Município é Cwa, segundo o sistema Köppen⁹.

Atualmente, o bom posicionamento de Piracicaba no cenário agrícola nacional se deve mais à extensão do Município associada ao alto índice de ocupação de seu território com produção agrícola e menos à eficiência desses sistemas de produção. Esta situação gera um grande desafio: melhorar a eficiência da produção agropecuária sem comprometer ainda mais os recursos naturais. Em consequência deste uso e ocupação, o passivo ambiental¹⁰

⁹ Subtropical úmido, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso.

¹⁰ Representa os danos causados ao meio ambiente, representando, assim, a obrigação, a responsabilidade social da empresa com aspectos ambientais.

quando avaliado pela ausência de Área de Preservação Permanente¹¹ (APP) que se estende ao longo de 1.200km de rios, e Reserva Legal¹² (RL) potencial (área com cobertura vegetal fora da APP) – ambos definidos no Código Florestal (BRASIL, 1965) - é de no mínimo 11.000ha. Esta área teria que ser reflorestada ou recuperada para a readequação ambiental do Município ao Código Florestal. A distribuição deste passivo não é uniforme, havendo bacias hidrográficas com estágio de conservação excelente lado a lado com áreas bastante degradadas (BARRETO et al., 2005)¹³.

O Município possui uma extensão rural com grande potencial de ocupação humana, além da presença da capivara, um dos principais hospedeiros silvestres do *A. cajennense*, justificando a identificação das áreas de risco para infestação humana por esse artrópode com finalidade de estabelecer programas de prevenção aos casos de doenças infecciosas veiculadas por ele.

A bacia do rio Piracicaba, como toda a região sudeste do Brasil, tem sofrido alterações drásticas da paisagem original que certamente influenciam a distribuição e abundância das espécies animais. Aparentemente, a capivara é uma das espécies que tem sido afetada por este processo, uma vez que grandes agregações populacionais podem ser observadas em ambientes completamente alterados, possivelmente em função da maior oferta de alimento e do desaparecimento de predadores naturais (FERRAZ, 2004).

¹¹ Área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º da Lei 4.771/65, coberta ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar de populações humanas.

¹² Área de cada propriedade onde não é permitido o corte raso, devendo ser averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel, no Registro de Imóveis competente, sendo vedada a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, ou de desmembramento da área.

¹³ O Atlas rural de Piracicaba é fruto do trabalho de pesquisadores da ESALQ com o apoio da Prefeitura Municipal de Piracicaba, realizado com o objetivo de rever o Plano Diretor de 2003 do Município.

Desde o início 2002 até dezembro de 2005, no Município de Piracicaba foram confirmados 14 casos de FM (ANEXO B), dos quais, segundo Perecin (2005), 7 indivíduos vieram a óbito (Informação verbal)¹⁴.

Em maio de 2004 foi realizado o 1º Fórum sobre Febre Maculosa - Ações de Controle e Adequação Ambiental, no Campus da ESALQ, em Piracicaba, no qual IBAMA e Prefeitura do Campus “Luís de Queiroz” (PCLQ) assinaram o Plano de Manejo visando à readequação ambiental do *campus* e controle da população de capivara. Foram discutidas diversas ações a serem implementadas paralelamente à retirada do excedente populacional de capivaras. A PCLQ deve atender ao Termo de ajuste de conduta (TAC) que a obriga a colocar em prática a proposta de readequação ambiental do Campus, onde a substituição de mata ciliar por áreas de cultivo ou pastagem, aumentou a capacidade suporte do habitat para a referida espécie. De acordo com dados apresentados no Fórum, atualmente apenas 10% da APP dentro da ESALQ encontra-se regularizada, ou seja, com sua vegetação original. De acordo com a proposta de adequação será necessário implantar 120ha de mata ciliar para atender a legislação vigente.

¹⁴ Informação oferecida por Perecin em Piracicaba, 2005.

1.4 IDENTIFICAÇÃO DE HABITATS FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DE POPULAÇÕES DE *A. CAJENNENSE*

Desde 1972, o sensoriamento remoto vem sendo utilizado para mapear as características da superfície terrestre e, desde então, pesquisadores têm estudado fatores ambientais que possam estar associados ao habitat de vetores e que possam ser identificados pelas imagens de satélite (BECK et al., 2000). Fotografias aéreas e outras técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos epidemiológicos para identificação de áreas favoráveis ao desenvolvimento de parasitas e vetores de doenças (HUGH-JONES, 1989).

Segundo Washino et al. (1994), o sensoriamento remoto é, por definição, a ciência e arte de obtenção de informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por meio de um artifício que não está em contato com os mesmos. O sensoriamento remoto fundamenta-se sobre o fato de que cada alvo ou objeto na superfície terrestre reflete ou emite uma energia específica em diferentes comprimentos de ondas do espectro eletromagnético. Os sensores são instrumentos para mensurar a intensidade da radiação eletromagnética (EMR) numa estreita variação de comprimento de onda chamada de banda (HAY, 2000).

Cada uma das bandas presentes na imagem registra as informações relativas à determinada faixa do espectro eletromagnético. A radiação registrada pelo sensor em cada uma das bandas é uma fração da radiação total que incide sobre a Terra, resultado da sua interação com os gases e partículas existentes na atmosfera, bem como com os elementos existentes nos alvos

com o quais interage, sendo parte absorvida, parte transmitida e parte refletida de volta para o espaço, a qual sensibiliza os sistemas sensores localizados em plataformas espaciais.

Cada banda de uma imagem de satélite pode ser vista como uma matriz de pontos, na qual a posição de cada elemento (*pixel*¹⁵) tem sua localização definida por um sistema de coordenadas (latitude, longitude) e o valor armazenado corresponde ao nível de cinza (NC), representando a média da intensidade da energia eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos presentes na região e medida pelo sensor (CROSTA, 1992). Cada *pixel* pode armazenar um número que varia de 0 a 255, correspondente a 8 bits.

O satélite Landsat 7 apresenta resolução temporal¹⁶ de 16 dias. Uma imagem do satélite representa, no solo, uma área de abrangência de 185 x 185km. O sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do satélite Landsat-7 possui oito bandas (Quadro 1), sendo que cada uma delas representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite. A resolução espacial¹⁷ das imagens nas bandas multiespectrais (1, 2, 3, 4, 5 e 7) é de 30m. Para a banda termal (6), a resolução é de 60m. Já a banda pancromática (8) apresenta resolução de 15m.

¹⁵ Derivado do inglês “picture element”.

¹⁶ Tempo entre as aquisições sucessivas de dados de uma mesma área.

¹⁷ Menor elemento de área que um sensor pode distinguir.

Banda	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas ETM+ do satélite Landsat 7
1	(0,45 - 0,52) Azul	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,61) Verde	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69) Vermelho	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em áreas com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em áreas com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,78 - 0,90) Infravermelho próximo	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75) Infravermelho médio	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 – 12,5) Infravermelho termal	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35) Infravermelho distante	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.
Pan	(0,52 – 0,90)	Sensível às regiões do espectro equivalentes às bandas 2, 3 e 4 do espectro eletromagnético.

(Fonte: Modificado de INPE - <http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm>. Acesso em: janeiro de 2001.)

Quadro 1- Descrição das bandas registradas pelo sistema Landsat 7

O estudo do comportamento espectral dos alvos, isto é, da interação entre a radiação eletromagnética incidente e o alvo, permite que informações sejam extraídas das imagens produzidas pelos sensores de modo a identificar áreas de mata, pastagens, centros urbanos, coleções líquidas, etc com base nos padrões registrados em cada uma das bandas da imagem. A Figura 3 apresenta um exemplo de comportamento espectral de diversos alvos.

(Fonte: Florenzano, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo, 2002. 12p.).

Figura 3 – Comportamento espectral da vegetação, da água e do solo

Dados de sensoriamento remoto podem ser utilizados para fornecer informações sobre a distribuição espacial das doenças transmitidas por artrópodes, pois permite o monitoramento de mudanças no ecossistema que condicionam alterações na dinâmica das populações de parasitas e vetores, permitindo identificar áreas de maior ou menor risco para ocorrência de doenças por eles veiculadas (HAY et al., 1997).

Os dados produzidos por satélite têm sido utilizados para quantificar elementos de paisagem que favorecem a abundância de carrapatos (WASHINO et al., 1994). Segundo Estrada-Peña (1998) informações de sensoriamento remoto sobre temperatura do solo e umidade parecem ser ferramentas promissoras para esta tarefa. Dister et al. (1997) fizeram uso de imagens de satélite para caracterização da paisagem das áreas de risco para a doença de Lyme, avaliando a umidade, estrutura e a condição da vegetação, sendo utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) para quantificar espacialmente e relacionar as variáveis da paisagem com as categorias de risco.

O SIG consiste em um sistema automático para armazenamento, manipulação, recuperação, análise e exibição de dados espaciais que vem sendo utilizado como ferramenta na vigilância e monitoramento de doenças veiculadas por artrópode e água (CLARKE et al., 1996). Glass et al. (1995) identificaram, através de análises espaciais, fatores de risco relacionados às variáveis ambientais para a ocorrência da doença de Lyme.

Estudos têm demonstrado a possibilidade de se utilizar o sensoriamento remoto com a finalidade de se identificar áreas favoráveis ao crescimento de carrapatos (HUGH-JONES et al., 1986; HUGH-JONES et al., 1992). Assim, imagens produzidas pelo Landsat 5 - Thematic Mapper (TM), utilizando as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, permitiram identificar o habitat do *A. variegatum* em propriedades infestadas (HUGH-JONES et al., 1986). Nesse estudo investigou-se a correlação entre cobertura vegetal, características químicas e físicas do solo, profundidade, inclinação, pluviometria e diferentes graus de contaminação das áreas, demonstrando que solos com pluviometria maior que 4000mm/ano,

expostos a baixas temperaturas e cultivados em altitudes superiores a 500m são livres da contaminação pelo *A. variegatum*. Verificou-se ainda correlação entre o grau de contaminação da área e heterogeneidade da cobertura vegetal, sendo que nas áreas heterogêneas houve uma correlação entre as variáveis independentes, Índice de Umidade (MI) e biomassa vegetal medida pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e a variável dependente, grau de contaminação pelo carrapato.

Estrada-Peña et al., (2004) mapearam 1277 dados de ocorrência de *A. cajennense* nas Américas. A distribuição apresentou-se limitada às latitudes 27°N e 29°S. As “preferências” ecológicas da espécie foram determinadas através de imagens capturadas pelo sensor Advanced, Very High Resolution Radiometers (AVHRR), do satélite americano Earth-orbiting Satellite (EOS), gerenciado pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), cuja resolução espacial é de 1km. Verificou-se que em áreas com altitude entre 0 e 800-1000m a espécie ocorre em regiões com temperatura média anual de 16°C (variando entre 13° a 26°C) e média do NDVI de 0,52 (variando entre 0,42 a 0,70). Em áreas de altitude entre 800-1000 e 1500m ocorre em regiões com temperatura média anual de 13°C (variando até 24°C) e média do NDVI de 0,56 (variando de 0,40 a 0,67).

Os estudos acima demonstraram que o estabelecimento das populações de carrapatos é condicionado pela presença de fatores ambientais favoráveis, tais como, temperatura, umidade, altitude e biomassa vegetal, bem como pela distribuição de populações hospedeiras. No entanto, fatores ambientais podem restringir a distribuição espacial dos carrapatos mesmo na presença de

populações hospedeiras, em decorrência do impacto destes na mortalidade das formas imaturas (KITRON et al., 1992).

Desse modo, considerando-se a importância crescente das infestações humanas por *A. cajennense* em decorrência, principalmente, de seu papel como vetor da FMB, propõe-se um modelo para identificação de áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* no Município de Piracicaba do Estado de São Paulo com base na avaliação da presença de fatores bióticos e abióticos que reconhecidamente modulam o seu crescimento.

2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos são apresentados a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

Mapear áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* e, conseqüentemente, identificar áreas de risco para infestação humana pelo carrapato no Município de Piracicaba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Utilizar imagens de satélite para aferir temperatura, umidade e biomassa vegetal.
2. Mapear áreas favoráveis para a presença de capivara.
3. Mapear propriedades com eqüinos e estimar a densidade.
4. Mapear densidade demográfica humana.
5. Mapear o local provável de infecção (LPI) dos casos de FMB.

3 MATERIAL E MÉTODO

A metodologia empregada para determinação das variáveis e construção do modelo de risco é apresentada a seguir.

3.1 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para extração de dados referentes à umidade, biomassa vegetal e temperatura foram utilizadas cenas apresentadas em formato digital produzidas pelo sistema Landsat 7 - ETM+. As imagens geocorrigidas e na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) foram adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para a apresentação da Figura 4 atribuiu-se o vermelho à banda 5, o verde à banda 4 e o azul à banda 3, esta composição também é conhecida como falsa cor. Nesta composição são evidenciados os limites entre solo, vegetação e água.

Foram adquiridas junto ao INPE 5 imagens no formato GeoTIFF com datas de 5 de janeiro, 10 de março, 13 de maio, 17 de agosto e 21 de novembro de 2002, da região de interesse (órbita 220; ponto 76) produzidas pelo satélite Landsat 7, compostas por 8 bandas, com nível 1G de processamento, ou seja,

georreferenciadas, com calibrações geométrica¹⁸ e radiométrica¹⁹ aplicadas. O principal critério de escolha das imagens foi a ausência de nuvens na área estudada.

Figura 4 – Exemplo de imagem Landsat 7 do Município de Piracicaba, composição colorida RGB (543)

3.1.1 Determinação do Índice de Umidade (MI)

Com o auxílio da função `r.mapcalc` do programa GRASS GIS 6.0.1, procedeu-se a manipulação numérica das 5 imagens de modo a calcular o MI, segundo o modelo proposto por Hugh-Jones (1992), que relacionou valores

¹⁸ Minimiza as diferenças entre os níveis de cinza registrada por uma matriz de detectores.

¹⁹ Reorganiza os *pixels* da imagem em relação a determinado sistema de projeção cartográfica.

elevados do MI com presença de animais infestados pelo *Amblyomma variegatum* em Guadalupe.

O cálculo do MI foi realizado utilizando-se as bandas 4 (Infra-vermelho próximo) e 7 (Infra-vermelho médio), segundo a equação:

$$MI = [(Banda\ 4 - Banda\ 7) / (Banda\ 4 + Banda\ 7)].$$

3.1.2 Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), por estimar a quantidade de biomassa vegetal, tem sido empregado para avaliar o vigor da vegetação, monitorar a cobertura vegetal, auxiliar na detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, dar suporte a previsão da produtividade agrícola, entre outras aplicações. A vegetação tem reflectância normalmente baixa na banda visível (3) e alta no infra-vermelho próximo (4). No primeiro caso, é a clorofila que absorve a radiação solar para permitir a fotossíntese, enquanto o tecido das folhas tem baixa absorção no infravermelho próximo. Já a cobertura vegetal em estresse hídrico tende a absorver menos radiação solar, aumentando sua reflectância no espectro visível, e a absorver mais no infra-vermelho próximo. Assim, a diferença da reflectância nesses comprimentos de onda (Banda 4 - Banda 3) tende a decrescer. Assim, a interpretação do NDVI deve levar em consideração os ciclos fenológicos das

culturas a fim de se distinguir as oscilações naturais do estado da vegetação (TUCKER, 1979).

O NDVI foi calculado utilizando-se as mesmas imagens produzidas pelo Landsat 7 – ETM+, com auxílio da função `r.mapcalc` do programa GRASS GIS 6.0.1, utilizando-se as bandas 3 (Visível) e 4 (Infra-vermelho próximo), de segundo a equação (TUCKER, 1979):

$$\text{NDVI} = [(Banda\ 4 - Banda\ 3)/(Banda\ 4 + Banda\ 3)]$$

3.1.3 Determinação da Temperatura de Superfície

Foram calculadas temperaturas utilizando-se a banda termal do satélite Landsat 7, cuja resolução espacial é 60m. O modelo utilizado foi desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS, 2004). Neste modelo, primeiramente é realizada a conversão do NCs em radiância²⁰ e, posteriormente, em temperatura.

Com o auxílio da função `r.mapcalc` do programa GRASS GIS 6.0.1, procedeu-se a manipulação numérica da imagem de modo a calcular a temperatura. O cálculo foi realizado utilizando-se a banda termal de alto

²⁰ Intensidade de energia eletromagnética por unidade de área, emitida por um elemento numa dada direção.

ganho²¹, devido a sua maior sensibilidade para a maioria dos alvos terrestres, usando a seguinte equação:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L+1}\right)}$$

Onde:

T = Temperatura (Kelvin)

$K2 = 666,09 \text{ watts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m})^{-1}$

$K1 = 1282,71 \text{ watts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m})^{-1}$

$\ln$ = Logaritmo natural

L = radiância espectral em $\text{watts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m})^{-1}$

A radiância (L) foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$L = 0,037059NC + 3,2$$

Posteriormente foi subtraído do valor de saída 273,15, para obtenção da temperatura em graus Celsius (°C). A imagem final foi reamostrada de modo a obter-se uma resolução espacial final de 25m.

3.1.4 Determinação da Altitude

De posse do arquivo digital, gentilmente cedido pela autora, referente às curvas de nível e pontos cotados da região de Piracicaba (Figura 5), construído com base em cartas topográficas na escala de 1:50.000 (GIANNOTTI, 2001), e com o auxílio do programa SPRING 3.5.1 (INPE, 2001), foi obtido o Modelo

²¹ Também conhecida como banda 6H, cuja saturação se dá a 322 Kelvin.

Digital do Terreno (MDT)²², gerado por grades triangulares do qual foi selecionado apenas o município de interesse e construído um mapa de altitude.

(Fonte: GIANNOTTI, M.A. **Geotecnologias na análise de impactos sócio-ambientais: o caso da queima da cana-de-açúcar na região de Piracicaba**. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001).

Figura 5 – Curvas de nível e pontos cotados

3.2 CÁLCULO DA DENSIDADE DE EQÜINOS

Para o mapeamento das propriedades com eqüinos foram utilizadas informações cedidas pela Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo, obtidas da base de dados do Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA), mantida pela Coordenadoria de Assistência

²² Representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre.

Técnica Integral (CATI). Nenhuma das propriedades possuía coordenadas geográficas precisas, de modo que houve a necessidade de serem realizadas viagens à campo com a finalidade de obtê-las. Estes dados foram confrontados com dados produzidos pelo Atlas rural de Piracicaba havendo, eventualmente, a complementação das informações. As coordenadas das propriedades foram plotadas com auxílio do programa ArcView 3.1 (ESRI INC.,1996) para a confecção do mapa apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Distribuição das propriedades que possuem eqüinos

O cálculo da densidade de eqüinos foi realizado considerando-se os limites do setor censitário rural. Assim, para cada setor rural somou-se o total de eqüinos existentes nas propriedades dividindo-se pela área do mesmo em hectares. O mapa resultante foi convertido em uma matriz com resolução de 25m.

3.3 MAPEAMENTO ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE CAPIVARAS

O modelo de distribuição da capivara no Município de Piracicaba foi construído baseando-se em metodologia descrita por Ferraz (2004), que desenvolveu um modelo preditivo para “Distribuição espacial da capivara em função da paisagem na Bacia do Rio Piracicaba, SP”.

Todas as etapas relativas à coleta e análise de dados foram delineadas e tiveram auxílio direto da Dra. Katia Maria P. M. B. Ferraz do Laboratório de Métodos Quantitativos da ESALQ/USP.

3.3.1 Modelo de distribuição potencial

A modelagem de distribuição da capivara foi realizada utilizando-se 10 variáveis obtidas a partir dos mapas temáticos digitais no SIG (camadas) e 20 pontos de presença da capivara no município coletados no campo. A modelagem foi realizada através do algoritmo GARP (*Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction*) (DESKTOP GARP, 2006).

Dez camadas foram utilizadas no processo da modelagem GARP:

- Imagem Landsat 7 classificada (10 classes) datada de março de 2002
- NDVI extraído da imagem citada
- Temperatura extraída da imagem citada

- Distância em relação à rede de drenagem
- Tipo de solo
- Uso e cobertura da terra
- MDT
- Aspecto²³
- Declividade²⁴
- Curvatura²⁵

As camadas foram convertidas para o formato ASCII *raster* com resolução de 100 m e inseridas no Desktop GARP para confecção do modelo. O Desktop GARP divide o conjunto de pontos de presença em dois subconjuntos: um utilizado para gerar os modelos e outro para sua validação. Cada ponto de presença gera um conjunto de regras de decisão utilizadas para explicar a ocorrência da espécie. A cada simulação o programa utiliza as regras para gerar um mapa de presença da espécie (GRID cujo *pixel* apresenta valor igual a zero na ausência da espécie ou 1 para presença).

Os 20 melhores modelos probabilísticos gerados são somados de modo a produzir o modelo preditivo final no qual o *pixel* varia de 0 a 20. Para inclusão desta variável no modelo de identificação de áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* foi realizada a normalização para escala de zero a 10 e reamostragem da imagem para 25m.

²³ Representa as faces de exposição do terreno em relação às oito ortodireções (derivado do MDT).

²⁴ Grau de inclinação de uma superfície (derivado do MDT).

²⁵ Representa se a superfície é côncava ou convexa (derivado do MDT).

3.3.2 Seleção dos sítios de estudo

Os sítios de estudos são caracterizados pela presença de um corpo d'água fechado (açude, represa, várzea ou lagoa). Utilizando-se uma imagem de satélite Landsat 7, composição RGB (345) datada de 10 de março de 2002, foram selecionados sítios de estudo, ou seja, áreas a serem visitadas para constatar presença ou não de capivaras. Aos sítios de estudos foram sobrepostas camadas referentes às estradas e rede de drenagem, sendo transferidos para um computador de mão HP iPAQ H5550®, que ligado a um receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS, do inglês Global Positioning System) Garmin Etrex®, permitiu navegação em tempo real e localização do sítios previamente selecionados. No local foi verificada presença/ausência de indivíduos e/ou rastros. Ao longo do Município foram visitados 20 pontos de presença e 20 pontos de ausência de capivaras (Figura 7).

Figura 7 – Distribuição dos sítios de estudo visitados

3.4 MODELO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DE POPULAÇÕES DE *A. CAJENNENSE*

A criação de um modelo para identificação de áreas favoráveis para o crescimento de populações de *A. cajennense* envolve tomada de decisão. Em geral, existem dois métodos de tomada de decisão. No primeiro, a decisão envolve a escolha entre hipóteses alternativas e no segundo, a tomada de decisão está baseada na seleção de um subconjunto de características a serem incluídas no modelo. Assim, como exemplo do primeiro método temos a classificação de áreas favoráveis ou não à ocorrência de deslizamentos

enquanto a seleção das melhores regiões para a agricultura representa o segundo método. Em resumo, o primeiro tipo de decisão está relacionada à classificação e o segundo a seleção (EASTMAN et al., 1995).

Para a construção do presente modelo foi escolhido o segundo método, pois neste caso, temos como único objetivo a identificação de áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense*. Para se atingir este objetivo, foram considerados vários critérios, esse procedimento é conhecido como *Avaliação Multicritério/Único Objetivo*.

Os dois procedimentos mais comuns para avaliação multicritério são: combinação linear ponderada e a análise de concordância-discordância (CARVER²⁶, 1991 apud EASTMAN et al., 1995 p. 540, VOOGD, 1983²⁷ apud EASTMAN et al.;1995 p. 540). Optou-se pela utilização do segundo por ser facilmente implementado em SIGs (EASTMAN et al., 1995).

Na construção do modelo de combinação linear ponderada, foram atribuídos pesos às variáveis que, posteriormente foram somadas, criando-se um mapa de áreas favoráveis de acordo com a equação:

$$S = \sum_{i=1}^m p_i x_i$$

Onde:

S = adequação para crescimento de populações de *A. cajennense*.

i = número de variáveis no modelo

p_i = peso atribuído à variável x_i

x_i = *i*ésima variável no modelo

²⁶ CARVER, S. J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information system. **International Journal of Geographical Information System**. v. 5, n. 3, p. 321-339, 1991.

²⁷ VOOGD, H. **Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning**. London: Pion, Ltd., 1987. 370p.

Como as variáveis utilizadas no modelo apresentam-se mensuradas em escalas diferentes, as mesmas foram normalizadas antes de sua utilização, além disso, quando necessário, houve também a sua transformação de modo que se apresentassem positivamente correlacionadas à variável dependente (adequação para o crescimento de populações de *A. cajennense*).

As variáveis positivamente correlacionadas com a variável dependente foram normalizadas utilizando-se uma escala linear com os valores máximo e mínimo utilizados como pontos da escala segundo:

$$x_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \times k$$

Onde:

R = valor bruto da variável

k = constante arbitrária (amplitude da nova escala)

x_i = variável normalizada

Foi utilizado $k=10$ de modo a obter-se um escore que variasse entre 0 e 10.

Para a criação dos pesos a serem atribuídos a cada uma das variáveis utilizou-se o método proposto por Saaty²⁸ (1977 apud EASTMAN et al.,1995 p.541). Este método permite a criação de pesos que somem 1, como necessário nos métodos multicritério, utilizando-se o autovetor principal de uma matriz quadrada de comparação pareada das variáveis segundo sua importância relativa na adequação do ambiente para crescimento da população de carrapatos.

²⁸ SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, n. 15, p. 234-281, 1977.

Assim, cada coluna da matriz representa uma variável que foi comparada com as mesmas variáveis, presentes nas linhas, e armazena em cada célula o escore de importância relativa da variável presente na linha, quando comparada com a variável da coluna, segundo o grau de importância apresentado no Quadro 2.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema- mente	Muito intensa- mente	Intensa- mente	Modera- damente	Igualmen- te	Modera- damente	Intensa- mente	Muito intensa- mente	Extrema- mente
Menos importante					Mais importante			

Fonte: SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, n. 15, p. 234-281, 1977.

Quadro 2 - Escala de comparação de critérios

Por este método, obtém-se uma matriz conforme apresentado abaixo, na qual, por exemplo, o valor de e_{21} representa a importância da variável x_2 em comparação com a variável x_1 na adequação do ambiente ao crescimento de populações de *A. cajennense*. A atribuição dos escores foi realizada a partir da opinião de três especialistas.

$$\begin{array}{ccccccc}
 & x_1 & x_2 & \cdots & x_n & & \\
 x_1 & 1 & e_{12} & \cdots & e_{1n} & & \\
 x_2 & e_{21} & 1 & \cdots & e_{2n} & & \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \\
 x_n & e_{n1} & e_{n2} & \cdots & 1 & &
 \end{array}$$

Segundo Saaty²⁹ (1980 apud SANTOS, 2005, p. 40), o autovetor (w) resultante do máximo autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) da matriz de comparação par a par, traduz a prioridade dos fatores e preserva a preferência ordinal entre as alternativas. Assim, para matriz de comparação par a par **A**, pode-se calcular o

²⁹ SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980. 20p.

vetor de pesos w pela resolução de $Aw = \lambda_{\max} w$. Os valores do vetor podem ser obtidos utilizando-se a seguinte equação:

$$w = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{e_{i,j}}{\sum_{i=1}^n e_{i,j}}}{n}$$

Os valores obtidos para os pesos podem ser considerados razoáveis quando o grau de consistência (CR) é inferior a 0,1 (SAATY; VARGAS³⁰, 1991 apud SANTOS, 2005, p. 41). O grau de consistência é calculado a partir do índice de consistência (CI) e do índice de aleatoriedade (RI) segundo a fórmula:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

O valor de CI é dado por:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Valores para o índice de aleatoriedade por sua vez foram propostos por Saaty (1980 apud SANTOS, 2005, p. 41) através do cálculo do valor médio de CI obtido para matrizes recíprocas geradas aleatoriamente para diferentes dimensões de matriz e são apresentados no Quadro 3.

³⁰ SAATY, T. L. E.; VARGAS, L. G. **Prediction, projection and forecasting**. Boston: Klumer Academic Publisher, 1991. 251 p.

N	RI	N	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

(Fonte: Adaptado de Ramos, R. A. R. **Localização industrial. Um modelo espacial para o noroeste de Portugal**. 2000. 299 p. Tese (Doutorado). Universidade do Minho, Braga, 2000.

Quadro 3 – Índice de aleatoriedade para diferentes valores de n

Os mapas obtidos pela soma ponderada das variáveis apresentam valores que variam de zero a dez, sendo que o valor zero representa áreas menos favoráveis e o valor dez áreas mais favoráveis. Esta escala foi categorizada de acordo com o critério apresentado no Quadro 4.

Faixa de variação	Categoria
0 — 2	Altamente desfavorável
2 — 4	Desfavorável
4 — 6	Medianamente favorável
6 — 8	Favorável
8 — 10	Altamente favorável

Quadro 4 – Grau de adequação ao crescimento de populações de *A. cajennense*

Para identificar os tipos de uso e cobertura da terra associados às categorias de adequação da área ao crescimento de populações de *A. cajennense* utilizou-se o arquivo digital do Atlas rural de Piracicaba referente à classificação supervisionada realizada através do algoritmo da máxima verossimilhança. A classificação para o uso e cobertura da terra foi realizada confrontando imagens Landsat 7 datadas de 13 de maio de 2002, 17 de agosto de 2002 e 8 de janeiro de 2003 com fotografias aéreas de 2000, cuja resolução espacial é de 0,88m, e obteve um índice Kappa de concordância de 0,91

(BARRETO, 2005). A construção do mapa temático foi realizada com auxílio do programa Arcview 3.1 (ESRI INC.,1996).

Para avaliar o modelo, aos mapas de áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* foi sobreposto o local provável de infecção (LPI) dos casos humanos confirmados de FMB, com objetivo de verificar se a sua localização corresponde às áreas mais favoráveis.

Conforme o Informe Técnico II sobre FM (CVE, 2004), para que uma determinada área seja considerada local provável de infecção, deve-se respeitar três condições: o local deve ter sido visitado pelo paciente infectado nos últimos 15 dias que precederam o início dos sintomas, deve ser comprovada a existência e/ou presença de condições naturais favoráveis para estabelecimento da população do vetor e o agente etiológico deve estar presente na população.

De posse dos dados relevantes, extraídos da Ficha de Investigação Epidemiológica dos casos de FM no Município de Piracicaba (ANEXO C), gentilmente cedidos pela Vigilância Epidemiológica da Secretaria Municipal de Saúde, e com o auxílio de um técnico do Centro de Controle de Zoonoses (CCZ) e da Secretaria da Saúde do Município, foram visitados os LPIs referente a cada um dos casos confirmados, para obtenção das coordenadas com auxílio de um receptor GPS.

Por fim, foi realizada uma estimativa da população humana que habita as regiões pertencentes às diferentes categorias do mapa de áreas favoráveis. Para tal, utilizou-se um mapa de densidade humana do Município de Piracicaba construído com base em informações obtidas junto ao IBGE referentes aos setores censitários rural (IBGE, 2002) e urbano (IBGE, 2004). O cálculo da

densidade foi realizado dividindo-se a população humana total residente em cada setor pela área do mesmo em quilômetros quadrados (km²).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises são apresentados a seguir.

4.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

As análises referentes às variáveis ambientais umidade, índice de vegetação por diferença normalizada, temperatura e altitude são apresentadas a seguir.

4.1.1 Índice de Umidade (MI)

O resultado da manipulação numérica das imagens descrita em 3.1.1 foi armazenado em variável de tamanho igual a 8 bits dos quais um é reservado à sinalização. O dado de saída de uma imagem em mapa de bits, na qual o valor de cada *pixel* corresponde ao MI que pode variar de -1 a 1. As imagens classificadas para MI estão representadas na Figura 8. O valor 1 corresponde a maior umidade e o valor -1 corresponde a menor umidade.

Como no artigo de referência não havia explicação de como interpretá-lo, foram consultados especialistas em sensoriamento remoto e todos disseram desconhece-lo. Este índice foi utilizado exclusivamente naquele artigo e não foram encontradas referências a ele em outros locais. Estes fatores acabaram limitando a sua utilização no modelo para identificação de áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* e, além disso, os valores do índice de umidade apresentaram elevada correlação com NDVI para as diferentes imagens utilizadas, como pode ser verificado no Quadro 5 apresentado na seção 4.8.

Entretanto, há perspectivas de que novos satélites equipados com novos sensores sejam capazes de obter estimativas de umidade do solo de forma mais precisa ampliando as possibilidades de utilização do sensoriamento remoto no controle de doenças transmitidas por vetores. Neste grupo encontra-se o satélite Aqua, lançado em 4 de maio de 2002 e que recebeu este nome em virtude da grande quantidade de informações sobre o ciclo da água na Terra que serão coletadas: evaporação dos oceanos, vapor d'água na atmosfera, nuvens, precipitação, umidade do solo, gelo oceânico, gelo na superfície e cobertura por neve, entre outras. As imagens deste satélite ainda não estavam disponíveis à época de realização desta tese.

Figura 8 – Índice de Umidade, 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002

4.1.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O resultado da manipulação numérica das imagens descrita em 3.1.2 foi armazenado em variável de tamanho igual a 8 bits dos quais um é reservado à sinalização. O dado de saída é uma imagem em mapa de bits, na qual o valor de cada *pixel* corresponde ao NDVI que pode variar de -1 a 1, sendo que, valores menores ou iguais a zero correspondem a áreas sem vegetação e valores maiores que zero correspondem a quantidades crescentes de biomassa, de modo que, o valor +1 significa presença de vegetação densa, úmida e bem desenvolvida. As imagens classificadas para NDVI estão representadas na Figura 9. A água apresenta valores negativos de NDVI, pois tem reflectância na banda visível (3) maior que na banda do infra-vermelho próximo (4). As nuvens refletem de forma semelhante no comprimento de onda visível (3) e no infra-vermelho próximo(4) e desse modo espera-se que o valor do *pixel* esteja próximo de zero (TUCKER, 1979).

Figura 9 - NDVI, 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002

4.1.3 Temperatura de Superfície

O resultado da manipulação numérica das imagens, como descrito em 3.1.3, é representado por uma imagem em mapa de bits, na qual o valor de cada *pixel* corresponde a temperatura em graus Celsius (°C). As imagens classificadas para temperatura estão apresentadas na Figura 10.

Os valores correspondem a uma estimativa da temperatura de superfície no momento da passagem do satélite. Para o Landsat 7, o horário de passagem se dá por volta das 10 horas da manhã. Os valores de temperatura obtidos dessa forma estão sujeitos a pequenas imprecisões em virtude da influência de variáveis de difícil mensuração como umidade do ar, transmitância da atmosfera e radiância ascendente e descendente (YANG; WANG, 2002), entretanto, este é o melhor método para estimar a temperatura em regiões extensas, como por exemplo, municípios.

Figura 10 – Temperatura em graus Celsius (°C), 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002

4.1.4 Altitude

O mapa hipsométrico proporciona uma visualização geral da altimetria que varia entre 421 a 790m, o resultado pode ser observado na Figura 11.

A faixa de variação de altitude verificada no Município de Piracicaba não é suficientemente ampla para que possa ser considerada fator que restrinja o crescimento da população de carrapatos, uma vez que Estrada-Peña et al. (2004) referem que o *A. cajennense* pode ser encontrado em altitudes que variem de 0 a 1500m.

Figura 11 – Mapa hipsométrico

4.2 DENSIDADE DE EQÜINOS

A área rural do Município perfaz 138.500ha e, de acordo com o LUPA realizado em 1999, o número total de eqüinos no município é de 1549, distribuídos em 342 propriedades. O mapa de densidade de eqüinos (animais por ha) por setor censitário pode ser visualizado na Figura 12. As densidades variaram de 0 a 1,7 animais/ha. Estes valores são uma aproximação da densidade efetiva um vez que não existe base de dados que registre o limite das propriedades o que permitiria a obtenção de valores mais precisos.

Figura 12 - Densidade de eqüinos (animais/ha) segundo setor censitário.

No que diz respeito à distribuição do efetivo eqüino no Município, vale ressaltar que a grande maioria das propriedades os mantém apenas para lida³¹.

4.3 ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE CAPIVARAS

O modelo preditivo final gerado pelo Desktop GARP é apresentado na Figura 13. Verificou-se que as áreas de maior probabilidade de ocorrência de capivaras estão associadas à rede de drenagem.

Figura 13 – Modelo preditivo de distribuição espacial da capivara

³¹ Animal utilizado como meio transporte e/ou auxiliando nas atividades da propriedade.

4.4 MODELO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DE POPULAÇÕES DE *A. CAJENNENSE*

Como variáveis independentes potencialmente selecionáveis para a inclusão no modelo têm-se: MI, NDVI, temperatura de superfície, altitude, densidade de eqüinos e áreas de provável ocorrência de capivaras. Para as variáveis MI, NDVI e temperatura de superfície buscou-se identificar a existência de correlação entre as imagens de um mesmo dia, assim, verificou-se que a variável MI apresentou elevada correlação com a variável NDVI e, portanto, optou-se por considerar-se para inclusão no modelo apenas a variável NDVI pois apresenta-se consolidada na literatura especializada, com interpretação claramente definida. Os coeficientes de determinação para as variáveis NDVI e MI, segundo as diferentes datas, foram calculados com auxílio do programa R versão 2.2.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005) e os resultados são apresentados no Quadro 5.

Data	R ²
5 de Janeiro de 2002	0,86
10 de Março de 2002	0,88
13 de Maio de 2002	0,89
17 de Agosto de 2002	0,84
21 de Novembro de 2002	0,84

Quadro 5 - Distribuição dos valores do coeficiente de determinação entre as variáveis NDVI e MI para as diferentes imagens

A altitude do Município de Piracicaba variou de 421m a 790m. Segundo Estrada-Peña et al. (2004), esses valores não limitam o crescimento de

populações de *A. cajennense* que podem ser encontrados de 0m a 1500m, assim, optou-se por não incluir essa variável no modelo.

As variáveis remanescentes foram normalizadas para uma escala de 0 a 10. A variável temperatura foi, inicialmente transformada de modo a apresentar correlação positiva com a adequação do ambiente. Para tal, considerou-se como temperatura ideal para crescimento de população de *A. cajennense* o valor de 27°C e como temperaturas mínima e máxima que possibilitam o crescimento dessas populações valores iguais a 15°C e 32°C, respectivamente. A seleção da faixa mais favorável e do valor de temperatura ideal se deu em função de dados experimentais obtidos para eclosão dos ovos (CARVALHO et al., 2004; FACINNI et al., 2004). Foi utilizada como referência a fase de ovo por ser considerada uma etapa crítica para o crescimento da população de carrapatos uma vez que nas demais fases ele pode ser mover em busca de áreas mais favoráveis. Adotou-se um modelo linear para a normalização conforme representado na Figura 14. Assim, temperaturas entre 15°C e 27°C foram transformadas utilizando-se a seguinte equação $y=0,83x+12,5$ e temperaturas entre 27°C e 32°C foram transformadas utilizando-se $y=-2,0x+64$. Para valores superiores a 32°C ou inferiores a 15°C atribuiu-se valor zero.

A variável NDVI foi transformada e normalizada de modo semelhante ao realizado com a variável temperatura. Considerou-se como valores adequados ao crescimento de populações de *A. cajennense* valores maiores que zero até 1, com valor mais adequado igual a 0,52. Adotou-se um modelo linear para a normalização conforme representado na Figura 15. Valores de NDVI entre zero e 0,52 foram transformados segundo a equação $y=19,23x$, valores entre 0,52 e 1 foram transformados segundo a equação $y=-20,83x+30,83$. Valores de NDVI

inferiores a zero receberam escore zero. Esta faixa de variação de NDVI foi obtida em estudo realizado por Estrada-Peña et al. (2004).

Figura 14 – Modelo para transformação e normalização da variável temperatura

Figura 15 – Modelo para transformação e normalização da variável NDVI

A variável densidade de eqüinos foi normalizada de modo linear considerando-se escore zero para densidade zero e escore 10 para densidade igual a 2 eqüinos/ha ou superior. Este valor foi obtido em estudo realizado por Labruna et al. (2001).

A matriz de comparação par a par das variáveis gerada por consenso entre três especialistas entrevistados separadamente é apresentada no Quadro 6.

	Capivaras	Eqüinos	Temperatura	NDVI
Capivaras	1	1	1/3	1/5
Eqüinos	1	1	1/3	1/5
Temperatura	3	3	1	1/3
NDVI	5	5	3	1

Quadro 6 – Matriz de comparação par a par das variáveis

O autovalor máximo para a matriz acima foi calculado com auxílio do programa Octave (EATON, 2002) obtendo-se o valor de $\lambda_{\max} = 4,04$. O valor dos pesos foi calculado como descrito em Material e Método obtendo-se o seguinte vetor:

$$w = \begin{pmatrix} 0,0967 \\ 0,0967 \\ 0,2516 \\ 0,5549 \end{pmatrix}$$

Assim, os pesos atribuídos à camada de capivaras, eqüinos, temperatura e NDVI foram, respectivamente, (0,0967; 0,0967; 0,2516; 0,5549). O índice de consistência obtido foi de CI=0,01 e o índice de aleatoriedade obtido do Quadro 3 foi RI=0,9. Estes valores permitiram estimar o grau de consistência como sendo igual a CR=0,014. Este valor é menor que 0,1 e portanto pode-se considerar adequados os valores da matriz de comparação par a par.

Obtidas as camadas que representam as variáveis normalizadas e transformadas construiu-se, para cada imagem, um mapa de áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense* em escala linear variando de

zero a 10, no qual o valor zero representa áreas menos favoráveis e o valor 10 áreas mais favoráveis. O resultado pode ser observado na Figura 16.

A observação da Figura 16 permite verificar que há um aumento de áreas favoráveis a partir de agosto atingindo o seu máximo em maio em decorrência, provavelmente, do aumento das chuvas que se traduzem em aumento de biomassa vegetal associada à elevação de temperaturas durante o verão.

O uso e cobertura da terra pode ser agrupada em quatro padrões principais: região de predomínio de cana-de-açúcar (45,5% da área rural), região de predomínio de pastagem (25% da área rural), região de coexistência de cana com pastagens e região de uso fragmentado do entorno imediato da área urbanizada. O mapa de classificação do uso da terra pode ser visualizado na Figura 17

Figura 16 – Áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense*, 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002

(Fonte: BARRETO, A. G. O. P.; SPAROVEK, G.; GIANNOTTI, M. **Atlas rural de Piracicaba**. Piracicaba: IPEF, 2005. 75 p. (No prelo.)).

Figura 17 - Uso e cobertura da terra

A cada uma dessas imagens sobrepõe-se a camada de uso e cobertura da terra com a finalidade de quantificar, para cada categoria, a composição em relação aos diferentes tipos de uso e cobertura. Os resultados são apresentados nas tabelas 1 a 5.

Pode-se verificar que a cana corresponde ao maior percentual de cobertura do solo para diferentes graus de adequação não se verificando gradiente. Isto se deve, provavelmente, à grande área ocupada pela cana que corresponde a 45,5% do solo do Município de Piracicaba e não à associação com a adequação para o crescimento da população de *A. cajennense*. Durante o trabalho de campo, foi possível observar áreas de cultivo de cana em diferentes estágios de crescimento. Entretanto, quando se observa áreas

ocupadas pela pastagem, áreas em regeneração e florestas remanescentes verifica-se que o aumento dessas coberturas está associado com o aumento do grau de adequação ao crescimento das populações de *A. cajennense*. Este fato está de acordo com observações feitas por Labruna et. al. (2001) de que regiões com pasto sujo apresentam maior probabilidade de haver altas taxas de infestação por *A. cajennense*, uma vez que pasto sujo pode ser compreendido como regiões de borda de mata e/ou com mata em regeneração.

Tabela 1 – Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 05 de janeiro de 2002. São Paulo, 2006

Uso e cobertura da terra	Categoria				
	Altamente desfavorável	Desfavorável	Medianamente favorável	Favorável	Altamente favorável
Pastagem	5,38%	27,31%	29,11%	20,78%	18,29%
Cana	43,84%	48,33%	45,88%	43,02%	43,94%
Áreas em regeneração	0,45%	5,85%	10,39%	12,92%	11,02%
Florestas remanescentes	0,78%	3,67%	9,12%	18,07%	18,27%
Urbano	45,06%	10,26%	2,45%	2,13%	4,93%
Florestas exóticas	0,00%	0,07%	0,70%	0,45%	0,14%
Outros	4,49%	4,51%	2,35%	2,63%	3,41%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 2 – Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 10 de março de 2002. São Paulo, 2006

Uso e cobertura da terra	Categoria				
	Altamente desfavorável	Desfavorável	Medianamente favorável	Favorável	Altamente favorável
Pastagem	11,45%	25,36%	28,52%	22,92%	21,30%
Cana	66,00%	43,28%	47,38%	42,92%	32,54%
Áreas em regeneração	0,86%	5,08%	10,25%	12,43%	12,95%
Florestas remanescentes	0,82%	2,79%	8,65%	16,83%	27,73%
Urbano	16,49%	18,41%	2,49%	1,48%	2,45%
Florestas exóticas	0,00%	0,04%	0,36%	0,94%	0,37%
Outros	4,34%	5,04%	2,35%	2,48%	2,66%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 3 – Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 13 de maio de 2002. São Paulo, 2006

Uso e cobertura da terra	Categoria				
	Altamente desfavorável	Desfavorável	Medianamente favorável	Favorável	Altamente favorável
Pastagem	2,07%	8,29%	38,00%	24,46%	16,70%
Cana	47,33%	54,83%	36,75%	47,55%	50,75%
Áreas em regeneração	1,83%	2,89%	9,89%	10,80%	11,76%
Florestas remanescentes	2,02%	2,46%	6,96%	12,55%	14,29%
Urbano	30,00%	27,16%	4,89%	1,72%	2,49%
Florestas exóticas	0,00%	0,02%	0,49%	0,59%	0,18%
Outros	16,75%	4,35%	3,02%	2,33%	3,83%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 4 - Distribuição porcentual do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 17 de agosto de 2002. São Paulo, 2006

Uso e cobertura da terra	Categoria				
	Altamente desfavorável	Desfavorável	Medianamente favorável	Favorável	Altamente favorável
Pastagem	26,42%	26,32%	20,38%	9,40%	0,00%
Cana	40,06%	46,79%	43,26%	34,01%	0,00%
Áreas em regeneração	11,07%	9,27%	10,60%	5,00%	0,00%
Florestas remanescentes	10,93%	8,72%	16,59%	7,57%	0,00%
Urbano	7,36%	6,05%	2,84%	4,28%	0,00%
Florestas exóticas	0,14%	0,25%	2,23%	0,69%	0,00%
Outros	4,02%	2,60%	4,10%	39,05%	100,00%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 5 - Distribuição do uso e cobertura da terra segundo a categoria, 21 de novembro de 2002. São Paulo, 2006

Uso e cobertura da terra	Categoria				
	Altamente desfavorável	Desfavorável	Medianamente favorável	Favorável	Altamente favorável
Pastagem	34,49%	28,13%	17,54%	13,07%	10,45%
Cana	42,88%	47,71%	50,37%	37,12%	29,17%
Áreas em regeneração	4,98%	10,34%	12,15%	13,84%	14,02%
Florestas remanescentes	3,37%	6,96%	12,69%	28,20%	35,19%
Urbano	13,28%	3,31%	2,25%	1,86%	2,49%
Florestas exóticas	0,04%	0,12%	1,17%	1,09%	0,66%
Outros	0,96%	3,43%	3,83%	4,82%	8,02%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

A distribuição do LPI dos casos confirmados de FM no Município pode ser visualizada na Figura 18. Os locais de provável infecção estão em sua

maioria situados em área periurbana³². Os LPIs visitados estavam localizados dentro propriedade rural ou em área de plantio próxima ao rio/córrego ou em área pasto freqüentado por bovino/eqüideos ou em área onde os eqüinos são colocados para alimentação/descanso na periferia. Em um dos casos o LPI foi considerado a própria residência do paciente e em outro caso foi determinada a Rua do Porto, uma vez que não foram encontrados outros indícios suficientes para estabelecê-los devidamente.

Figura 18 - Distribuição dos LPIs dos casos confirmados de febre maculosa até dezembro de 2005

A Figura 19 representa a distribuição dos LPIs dos casos confirmados de FMB sobreposta ao mapa de áreas favoráveis ao crescimento do *A. cajennense*. Verifica-se que os casos ocorrem próximos a “ilhas” mais favoráveis na área periurbana, como se pode observar na Figura 19 C.

³² Situado na vizinhança imediata de uma cidade ou relativo a este espaço.

Uma hipótese para explicar tal padrão é a maior densidade populacional humana nessas regiões, sendo que, a presença de tais “ilhas” acarretaria maior exposição de seres humanos às populações de *A. cajennense* e, conseqüentemente, maior probabilidade de ocorrência de casos.

Figura 19 – Ampliação da região de distribuição do LPI dos casos confirmados de FMB até dezembro de 2005 e áreas favoráveis ao crescimento de populações de *A. cajennense*, 5 de janeiro (A), 10 de março (B), 13 de maio (C), 17 de agosto (D) e 21 de novembro (E) de 2002

Para avaliar a dimensão da população exposta às diferentes categorias sobrepôs-se o mapa de densidade humana por setor censitário rural e urbano do Município de Piracicaba (Figura 20) ao mapa de áreas favoráveis.

Figura 20 – Densidade demográfica humana (indivíduos/km²) segundo os setores censitários

Os resultados são apresentados na Tabela 6 onde se observa que, nos diferentes períodos do ano, a população exposta a regiões altamente desfavoráveis ou desfavoráveis é de, no mínimo 70,14% podendo chegar a 96,16%. Por outro lado, de 0,04% a 15,23% da população está exposta a áreas favoráveis ou altamente favoráveis ao longo do ano.

Tabela 6 - Distribuição da porcentagem da população humana exposta às diferentes categorias nos diferentes períodos de 2002. São Paulo, 2006

Meses	Categoria de Risco (%)					Total
	Altamente desfavorável	Desfavorável	Medianamente favorável	Favorável	Altamente favorável	
Janeiro	44,62%	32,77%	14,29%	8,12%	0,20%	100,00%
Março	10,10%	68,48%	13,59%	7,66%	0,17%	100,00%
Maio	6,98%	63,16%	14,63%	13,39%	1,84%	100,00%
Agosto	17,74%	78,42%	3,80%	0,04%	0,00%	100,00%
Novembro	76,85%	13,25%	7,21%	2,49%	0,20%	100,00%

Identificadas áreas de risco, os órgãos competentes podem direcionar ações integradas de prevenção e controle para áreas mais críticas tais como:

- identificação, através de placas de alerta, das áreas de risco de infestação por carrapatos;
- distribuição de material educativo sobre a doença;
- divulgação dos locais de risco junto à população e profissionais de saúde;
- treinamento dos profissionais da saúde para diagnóstico de FMB;
- estímulo à readequação ambiental visando a diminuição da capacidade suporte para populações de capivara e, conseqüentemente, diminuição da populações de carrapatos em áreas onde há o descumprimento do código florestal;
- nas propriedades rurais que possuam eqüinos, orientar proprietários sobre:
 - importância e periodicidade dos banhos carrapaticidas;
 - impacto da densidade animal nos piquetes;
 - importância da rotação de piquetes e roçada da pastagem em descanso;

- importância da retirada manual dos carrapatos em sua fase adulta.

5 CONCLUSÕES

As temperaturas para o Município de Piracicaba variaram de 11,4°C a 41°C.

Os valores de NDVI variaram de -0,79 a +1,00.

As áreas de provável ocorrência de capivaras são apresentadas na Figura 13.

A densidade de eqüinos variou de 0,0 a 1,7 animais por ha.

A densidade humana no Município de Piracicaba variou de 0 a 36769hab/km².

As áreas favoráveis ao crescimento de *A. cajennense* no Município de Piracicaba ao distribuídas como apresentado na Figura 16.

Os LPIs dos casos confirmados encontram-se em área periurbana próximos a “ilhas” mais favoráveis.

A população exposta a regiões altamente desfavoráveis ou desfavoráveis é de, no mínimo, 70,14% podendo chegar a 96,16%. Por outro lado, de 0,04% a 15,23% da população está exposta a áreas favoráveis ou altamente favoráveis ao longo do ano.

REFERÊNCIAS

BARRETO, A. G. O. P.; SPAROVEK, G.; GIANNOTTI, M. **Atlas rural de Piracicaba**. Piracicaba: IPEF, 2005. 75 p. (No prelo).

BECK, L. R.; LOBITZ, B. M.; WOOD, B. L. Remote sensing and human health: new sensors and opportunities. **Emerging Infectious Diseases**, v. 6, n. 3, p. 217-226, 2000.

BRASIL. Novo Código Florestal Brasileiro, Lei Nº 4.771. Congresso Nacional, **Diário Oficial da União**. Brasília, 15 Set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: maio de 2004.

CARVALHO, F. E. S.; CHACÓN, S. C. Effects of different temperatures towards the embryogenesis of *A. cajennense* Fabricius, 1787 (Acari:Ixodidae). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 23, p. 310, 2004, suplemento1.

CDC - CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Preventing emerging infectious diseases: A strategy for the 21st century, Atlanta, 1998.

CLARKE, K. C.; MC LAFFERTY, S. L.; TEMPALSKI, B. J. On epidemiology and geographic information systems: A review and discussion of future directions. **Emerging Infectious diseases**, v. 2, n. 2, p. 85-92, 1996.

CURRAN, P. J.; ATKINSON, P. M.; FOODY, G. M.; MILTON, E. J. Linking remote sensing, landcover and disease. **Advances in Parasitology**, v. 47, p. 37-80, 2000.

CVE - CENTRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA, **Informe Técnico Febre Maculosa Brasileira**, 2002. Disponível em: <ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc_tec/zoo/inf_maculosa.pdf>. Acesso em: nov. de 2003.

CVE - CENTRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA, **Informe Técnico Febre Maculosa Brasileira**, 2004. Disponível em: <ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc_tec/zoo/if_fmb2.pdf>. Acesso em: nov. de 2004.

DEL GUERCIO, V. M. F.; ROCHA, M. M.; MELLES, H. H. B.; LIMA, V. C. L.; PIGNATTI, M. G. Febre maculosa no Município de Pedreira, SP, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de medicina Tropical**, v. 30, n. 1, p. 47-52, 1997.

DESKTOP GARP, 2005. **User's Manual**. Disponível em: <<http://www.lifemapper.org/desktopgarp/Default.asp?Item=3&Lang=1>>. Acesso em: dez. de 2005.

DIAS, E.; MARTINS; A. V. Spotted fever in Brazil. A summary. **The American Journal of Tropical Medicine**, v. 19, n. 103-108, 1939.

DISTER, S. W.; FISH, D.; BROS, S. M.; FRANK, D. H.; WOOD, B. L. Landscape characterization of peridomestic risk for Lyme Disease using satellite imagery. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 57, n. 6, p. 687-692, 1997.

EASTMAN, J. R., WEIGEN, J., KYEM, P.A.K, TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

ESRI INC. **ArcView GIS version 3.1**. Redlands, 1996. 1 CD-Rom.

EATON, J. W. **GNU Octave manual**. Network Theory Limited, 2002. Disponível em: <<http://www.octave.org>>. Acesso em: jan. de 2006.

ESTRADA-PENÑA, A. Geostatistics and remote sensing as predictive tools of tick distribution; a cockriging system to estimate *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) habitat suitability in the United States and Canada from advanced very high resolution radiometer satellite imagery. **Journal of Medical Entomology**, 35 (6): 989-995, 1998.

FACCINI, J. L. H., DAEMON, E., PRATA, M. C. A., FURLONG, J. Limites térmicos para o processo de eclosão larval de *A. cajennense* (Acari: Ixodidae). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 23, p. 136, 2004, suplemento1.

FERRAZ, K. M. P. M. B. **Distribuição espacial da capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) em função da paisagem na bacia do rio Piracicaba, SP**. 2004. 115 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FERRAZ, K. P. M. B.; LECHEVALIER, M.; COUTO; H.T.Z.; VERDADE, L.M.. 2003. Damage caused by capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) on a corn field in São Paulo, Brasil. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 191-194, 2003.

FERRAZ, K. P. M. B.; VERDADE, L. M. Ecologia comportamental da capivara: bases biológicas para o manejo da espécie. In: Mattos, W. R. S. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 589-595.

GIANNOTTI, M. A. **Geotecnologias na análise de impactos sócio-ambientais: o caso da queima da cana-de-açúcar na região de**

Piracicaba. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

GLASS, G. E.; SCHWARTZ, B. S.; MORGAN, J. M.; JOHNSON, D. T.; NOY, P. M.; ISRAEL, E. Enviromental risk factor for lyme disease identified with geographic information systems. **American Journal of Public Health**, v. 85, n. 7, p. 944-948, 1995.

GOMES, L.S. Thypho exanthematico de São Paulo. **Brasil-Médico**, v. 17, n. 52, p. 919-921, 1933.

GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2005. **GRASS 6.0 Users Manual**. ITC-irst, Trento, Italy. Disponível em: <http://grass.itc.it/grass60/manuals/html_grass60/>. Acesso em: out. de 2005.

GUIMARÃES, J. H.; TUCCI, E. C; BARROS-BATTESTTI, D. M. **Ectoparasitos de Importância Veterinária**. São Paulo: Plêiade/FAPESP, 2001. 218 p.

HAY, S. I. An Overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health Application. **Advances in Parasitology**, v. 47, p. 2-35, 2000.

HAY, S. I.; PACKER, M. J.; ROGERS, D. J. The impact of remote sensing on the study and control of invertabrate intermediate hosts and vectors disease. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, p. 2899-2930, 1997.

HUGH-JONES, M.; BARRE, N.; NELSON, G.; WEHNES, K.; WARNER, J.; GARVIN, J.; GARRIS, G. Landsat - TM identification of *Amblyomma variegatum* (Acari: Ixodidae) habitats in Guadalupe. **Remote Sensing and Environment**, v. 40, p. 43-55, 1992.

HUGH-JONES, M. Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and disease vectors. **Parasitology Today**, v. 5, n. 8, p. 244-251, 1989.

HUGH-JONES, M. E.; O'NEIL, P. The epidemiological uses of remote sensing and satellites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VETERINARY EPIDEMIOLOGY AND ECONOMICS, p. 113-118. 4., 1986, Singapore, **Proceedings...** Singapore: Singapore Veterinary Association, 1986.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000. Agregados por setores censitários dos Resultados do Universo**. Rio de Janeiro. IBGE, 2004. CD-ROM.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000. Resultado do universo. Base de informações por setor censitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CD-ROM.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Digital do Brasil. Situação em 2001**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. CD-ROM.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS. Sistema de Processamento de Informações georreferenciadas (SPRING) Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/> >. Acesso em: fev. de 2002.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1996. 316 p.

KITRON, U.; JONES, C. J.; BOUSEMAN, J. K.; NELSON, J. A.; BAUMGARTNER, D.L. Spatial analysis of the distribution of *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae) on white-tailed deer in Ogle County, Illinois. **Journal of Medical Entomology**, v. 29, p. 259-266, 1992.

LABRUNA, M. B.; AMAKU, M.; METZNER, J. A.; PINTER, A.; FERREIRA, F. Larval behavioral diapause regulates life cycle of *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) in Southeast Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v. 40, n. 2, p. 170-178, 2003.

LABRUNA, M. B.; KASAI, N.; FERREIRA, F.; FACCINI, J. L. H.; GENNARI, S. M. Seasonal dynamics of ticks (Acari: Ixodidae) on horses in the state of São Paulo Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 105, p. 65-77, 2002.

LABRUNA, M.B.; KERBER, C.E.; FERREIRA, F.; FACCINI, J.L.H.; WALL, D.T.; GENNARI, S.M. Risk factors to tick infestations and their occurrence on horses in the State of São Paulo, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 97, p. 1-14, 2001.

LEMOS, E. R. S.; MACHADO, R. D.; COURA, J. R.; GUIMARÃES, M. A. A.; FREIRE, N. M. S.; AMORIM, M.; GAZETA, G. S. Epidemiological aspects of the brazilian spotted fever: seasonal activity of ticks collected in an endemic area in São Paulo, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 30, n. 3, p. 181-185, 1997.

MAYER, J. D. Geography, ecology and emerging infectious diseases. **Social Science & Medicine**, v. 50, p. 973-952, 2000.

MORSE, S. S. Factors in the emergence of infectious diseases. **Emerging Infectious Diseases**, v. 1, n. 1, p. 7-15, 1995.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992. 308 p.

NOWAK, R. M. **Walker's mammals of the world**. 5.ed. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1991. 1629 p.

OLIVEIRA, P. R.; BORGES, L. M. F.; LOPES, C. M. L.; LEITE, R. C. Population dynamics of the free living stages of *Amblyomma cajennense*

(Fabricius, 1787) (Acari: Ixodidae) on pastures of Pedro Leopoldo, Minas Gerais state, **Veterinary Parasitology**, n. 92, p. 295–301, 2000.

PINTER, A. **Aspectos epidemiológicos da febre maculosa em uma área endêmica no Município de Mogi das Cruzes (SP) e estudo em laboratório do ciclo de vida do vetor *Amblyomma areoulatum* (Acari:Ixodidae)**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PHILIP. R. N.; CASPER, E. A.; BURGDORFER, W; GERLOFF, R. K.; HUGHES, L. E.; BELL, E. J. Serologic typing of rickettsiae of the spotted fever group by microimmunofluorescence. **Journal of Immunology**, v. 121, p. 1961-1968, 1978.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, 2004. Disponível em: <<http://piracicaba2.imagenet.com.br/>>. Acesso em: out. de 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005. R a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: dez. de 2005.

SANTOS, V. S. **Modelagem da geração e distribuição de viagens para escola utilizando o *cellular automata* e avaliação multicritério**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE. SUPERINTENDÊNCIA DE CONTROLE DE ENDEMIAS (SUCEN) DE SÃO PAULO. **Manual de Vigilância Acarológica** – São Paulo: A Secretaria, 2004. 62p.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2004. MRCL 2001 Image preprocessing procedure. Disponível em: <http://landcover.usgs.gov/pdf/image_preprocessing.pdf>. Acesso em: fev. de 2004.

WASHINO, R. K.; WOOD B. L. Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control. **American Journal of Tropical. Medicine and Hygiene**, v. 50, n. 6, p. 134-144, 1994, suplemento.

YANG, J.; WANG, Y. Using an emissivity calibration model and Landsat-7 etm+ data to estimate land surface temperature, **Journal of Remote Sensing**, v. 6, 104-110, 2002, suplemento.

YEKUTIEL, P. **Eradication of infectious diseases**. New York: Karger, 1980. 164 p.

ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS CASOS DE FEBRE MACULOSA SEGUNDO MUNICÍPIO PROVÁVEL DE INFECÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO - 1985 - 1997

FEBRE MACULOSA

tabela - 1998 a 2005

Distribuição dos casos de Febre Maculosa segundo município provável de infecção no Estado de São Paulo - 1985 - 1997

DIR	Ano / Município	1985 Nº	1986 Nº	1987 Nº	1988 Nº	1989 Nº	1990 Nº	1991 Nº	1992 Nº	1993 Nº	1994 Nº	1995 Nº	1996 Nº	1997 Nº	TOTAL Nº
XII	Pedreira	3	4	3	1					4		1	1		17
XII	Jaguariúna		1		2	1			1		3	1	2		11
XII	Lindóia									1					1
XII	Campinas											2	2	1	5
XII	Monte Alegre do Sul													1	1
XV	Limeira												1		1
	TOTAL	3	5	3	3	1	0	0	1	5	3	4	6	2	36

ANEXO B - DISTRIBUIÇÃO DOS CASOS CONFIRMADOS DE FEBRE MACULOSA SEGUNDO MUNICÍPIO DE INFECÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO - 1998 - 2005

FEBRE MACULOSA

tabela - 1985 a 1997

Distribuição dos casos confirmados de Febre Maculosa, segundo município de infecção no Estado de São Paulo - 1998 - 2005*

DIR	Ano / Municípios	1998 Nº	1999 Nº	2000 Nº	2001 Nº	2002 Nº	2003 Nº	2004 Nº	2005 Nº	Total Nº
I	São Paulo					1		1	3	5
II	Diadema	1					2	1	2	6
II	Mauá**							3	1	4
II	Santo André			1					2	3
II	São Bernardo				1		1	1	3	6
II	Ribeirão Pires						1	1		2
III	Mogi das Cruzes	5					2		1	8
XII	Aguas de Lindóia						1			1
XII	Americana							1		1
XII	Amparo			5						5
XII	Artur Nogueira							1	1	2
XII	Campinas			2	5	3	3	2	3	18
XII	Cosmópolis						1		1	2
XII	Jaguariuna	2	2	3			4	2	2	15
XII	Lindoia					1				1
XII	Monte Alegre do Sul							2	1	3
XII	Monte Mor			1					1	2
XII	Paulinea				5					5
XII	Pedreira	3		3	2	3	7		1	19
XII	Santa Barbara							1		1
XII	Santo Antonio da Posse	2								2
XII	Sumaré				1					1
XII	Valinhos						3	2	5	10
XII	Vinhedo**							7	1	8
XII	Em investigação				1		1			2
XIV	Oriente						1			1
XV	Araras							1		1
XV	Ipeuna						1			1
XV	Limeira			1						1
XV	Piracicaba**					1	1	4	8	14
XVIII	Ribeirão Preto							1		1
XIX	Guarujá								1	1
XX	Mococa								1	1
XXIII	Itu						1		1	2
XXIII	Salto							3		3
XXIV	Queluz**								3	3
	TOTAL	13	2	16	15	9	30	34	42	161

** casos confirmados por critério clínico-epidemiológico

* dados provisórios até 05/01/06

Fonte: http://www.cve.saude.sp.gov.br/htm/zoo/fm_d9803.htm, 2005

ANEXO C – FICHA DE INVESTIGAÇÃO EPIDEMIOLÓGICA

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA SAÚDE
ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE

SINAN
SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO
FICHA DE INVESTIGAÇÃO FEBRE MACULOSA

Nº

Dados Gerais	1 Tipo de Notificação 2- Individual		2 Data da Notificação	
	3 Município de Notificação		Código (IBGE)	
	4 Unidade de Saúde (ou outra fonte notificadora)		Código	
	5 Agravado		6 Data dos Primeiros Sintomas	
Dados do Caso	7 Nome do Paciente		8 Data de Nascimento	
	9 (ou) Idade D - dias M - meses A - anos		10 Sexo M - Masculino F - Feminino I - Ignorado	
	11 Raça/Cor 1-Branca 2-Preta 3-Amarela 4-Parda 5-Indígena 9-Ignorado		12 Escolaridade (em anos de estudo concluídos) 1-Nenhuma 2-De 1 a 3 3-De 4 a 7 4-De 8 a 11 5-De 12 e mais 6- Não se aplica 9-Ignorado	
	13 Número do Cartão SUS		14 Nome da mãe	
Dados de Residência	15 Logradouro (rua, avenida, ...)		Código	
	17 Complemento (apto., casa, ...)		18 Ponto de Referência	
	20 Município de Residência		Código (IBGE) Distrito	
	21 Bairro		Código (IBGE) CEP	
	23 (DDD) Telefone		24 Zona 1 - Urbana 2 - Rural 3 - Periurbano 9 - Ignorado	
	25 País (se residente fora do Brasil)		Código	
Dados Complementares do Caso				
Ident. Comp.	26 Data da Investigação		27 Ocupação / Ramo de Atividade Econômica	
	28 Gestante 1- sim 2- não 9- ign			
Dados Clínicos	29 Sinais e Sintomas 1- sim 2- não 9- ign			
	☐ Febre ☐ Cefaléia ☐ Dor Abdominal ☐ Icterícia ☐ Náuseas/Vômitos ☐ Exantema ☐ Diarreia ☐ Manifestações Hemorrágicas ☐ Hiperemia Conjuntival ☐ Hepatomegalia/Esplenomegalia ☐ Petéquias ☐ Prostração ☐ Linfadenopatia ☐ Convulsão ☐ Necrose de extremidades ☐ Alterações Respiratórias ☐ Choque/Hipotensão ☐ Estupor/Coma ☐ Mialgia ☐ Oligúria/Anúria ☐ Outros _____			
Epidemiologia	30 Situação de risco nas últimas duas semanas (14 dias) 1- sim 2- não 9- ign			
	☐ Teve contato com carrapatos: ☐ No próprio corpo ☐ Retirar carrapato de animal Localidade/município _____ ☐ Roupas de cama ☐ Retirar carrapato em outra			
	☐ Teve contato com animais: ☐ Capivara Localidade/município _____ ☐ Bovinos Localidade/município _____ ☐ Cão/gato Localidade/município _____ ☐ Equinos Localidade/município _____ ☐ Outros animais _____ Localidade/município _____			
	☐ Frequentou ambientes com vegetação (mata, florestas, etc) Localidade/município _____ ☐ Esteve a beira de rios, cachoeiras, lagos, etc Localidade/município _____			
Tratamento	31 Ocorreu hospitalização 1- sim 2- não 9- ign		32 Data de atendimento	
	33 UF 34 Nome do hospital		34 Município do hospital	
	35 Endereço do hospital		36 Referência	

FEBRE MACULOSA 04/06/2004 MR COREL

ANEXO C – continuação

Dados Laboratoriais	37 Resultados laboratoriais		Data da primeira coleta: ____/____/____	
	Bilirrubina:		Hemograma:	
	Direta:	mg/dl	Hemoglobina:	g/l%
	Indireta:	mg/dl	Plaquetas:	cels./mm ³
	TGO (AST):	U/L	Leucócitos:	cels./mm ³
	TGp (ALT):	U/L	Linfócitos:	cels./mm ³
Dados Laboratoriais Específicos	38 Diagnóstico Laboratorial 1- SIM 2- NÃO 9- IGNORADO ☐			
	39 Data da 1ª amostra		☐ IgM (1ª amostra)	Título (IgM 1ª amostra)
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> 1- POSITIVO 2- NEGATIVO 3- INCONCLUSIVO 4- NÃO-REALIZADO 9- IGNORADO </div> <div> ☐ IgG (1ª amostra) ☐ IgG (2ª amostra) ☐ IgG (2ª amostra) </div> </div>		Título (IgG 1ª amostra)	
			Título (IgG 2ª amostra)	
			Título (IgG 2ª amostra)	
			Título (IgG 2ª amostra)	
	OUTROS EXAMES			
	41 Data da COLETA		☐ Imunohistoquímica	1- POSITIVO 2- NEGATIVO 3- INCONCLUSIVO 4- NÃO-REALIZADO 9- IGNORADO
	42 Data da COLETA		☐ PCR	
	43 Data da COLETA		☐ Isolamento	Agente
44 Data da COLETA		☐ Outro exame	especifique	
Conclusão	LOCAL PROVÁVEL DE INFECÇÃO			
	45 UF	46 País	47 Município	
	48 Localidade/Distrito		49 Referência	
	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL PROVÁVEL DE INFECÇÃO			
	50 Áreas 1- Urbana 9- Ignorado ☐ 2- Rural 3- Peri-Urbana		51 Ambiente 1- Domiciliar 4- Outro ☐ 2- Trabalho 9- Ignorado 3- Lazer	
	52 Doença Relacionada ao Trabalho 1- Sim 2- Não 9- Ignorado ☐			
	53 Diagnóstico Definitivo ☐ 1- Confirmado 2- Descartado 3- Compatível		54 Se descartado, especifique diagnóstico	
	55 Evolução do Caso ☐ 1- Cura 2- Óbito 9- Ignorado		56 Data do Óbito 57 Data do Encerramento	
	Observações			
	Investigador	58 Município/Unidade de Saúde		Código da Unid. de Saúde
59 Nome		60 Função	61 Assinatura	