

UM PROCEDIMENTO PARA INSPEÇÃO FITOSSANITÁRIA (OU ZOOSSANITÁRIA) POR AMOSTRAGEM DE PLANTAS (OU ANIMAIS)¹

Francisco Alberto Pino²
Vera Lucia Ferraz dos Santos Francisco³

1 - INTRODUÇÃO

A sanidade vegetal, bem como a animal, são especialmente importantes em culturas ou criações cuja produção destina-se à exportação. A falta de manejo de doenças na agropecuária pode levar a grandes perdas econômicas e, em alguns casos, à fome de populações afetadas. Além disso, as exigências atuais de rastreabilidade e de sustentabilidade tornam imprescindíveis o conhecimento e o controle da sanidade vegetal e animal. É do interesse do produtor inspecionar (ele mesmo, ou um profissional contratado) sua plantação ou seu rebanho, para detectar a presença de doenças, a fim de tomar as medidas cabíveis em cada caso. Entretanto, como a existência de um único foco de uma doença relevante pode comprometer todo um setor de atividade agropecuária, a inspeção e fiscalização oficiais fazem-se necessárias, com base num aparato legal especialmente elaborado. Órgãos governamentais são criados para exercer tal função, porém, algumas características da agropecuária de um país ou estado podem dificultar o trabalho, tais como: a) a necessidade de inspecionar muitas atividades agropecuárias diferentes; b) a dispersão geográfica dessas atividades, principalmente em países de grande extensão territorial; c) o grande número de plantas ou de animais a serem inspecionados, no caso das atividades de maior peso no agronegócio; e d) a insuficiência de recursos humanos qualificados, ou materiais, ou financeiros, notadamente em países em desenvolvimento ou pouco desenvolvidos. Como essas inspeções e fiscalizações devem ser realizadas periodicamente, ao longo dos anos, essas dificuldades podem, eventualmente, torná-las im-

praticáveis. Decorre daí a proposta de pelo menos parte delas serem feitas por amostragem, segundo algum delineamento amostral que possa ser adequadamente elaborado.

Este artigo propõe uma metodologia estatística para a realização de tal fiscalização com base científica. Deve-se destacar que os objetivos fundamentais dessa fiscalização, a serem atendidos pela metodologia proposta, são: a) verificar o cumprimento da legislação de defesa agropecuária por parte dos produtores e b) encontrar plantas ou animais doentes a fim de tomar as providências cabíveis para evitar seu alastramento para cultivos e criações saudáveis. Embora o objetivo principal não seja obter dados estatísticos sobre prevalência das doenças, pode-se tomar como objetivo secundário ou subproduto a obtenção de estatísticas gerenciais para controle da fiscalização e do cumprimento daquela legislação, bem como de novas ocorrências das doenças.

2 - ESQUEMA AMOSTRAL

O esquema amostral proposto compreende três estágios: no primeiro, unidades de produção agropecuária⁴, isto é, fazendas, sítios, chácaras, estâncias, etc., que cultivem plantas ou criem animais de interesse, são classificadas em estratos e depois sorteadas; no segundo, já no campo, grupos de plantas (como talhões de cultura) ou de animais (como rebanhos) são relacionados e sorteados dentro das unidades de produção agropecuária selecionadas no primeiro estágio; finalmente, no terceiro, plantas ou animais são sorteados dentro de cada grupo selecionado no segundo estágio. Esquemas semelhantes têm sido usados com sucesso em diver-

¹Cadastrado no CCTC, IE-08/2013.

²Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador Científico aposentado do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: drfapino@gmail.com).

³Estatístico, Pesquisadora Científica do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: veralfrancisco@iea.sp.gov.br).

⁴Para uma discussão sobre as diferenças conceituais entre propriedade rural, imóvel rural e estabelecimento rural, ver São Paulo (1997).

os trabalhos, como em Athie Junior et al. (2006), Cunha et al. (2009) e Lara et al. (2013).

2.1 - Primeiro Estágio

Cadastramento. O primeiro passo consiste em elaborar uma relação de unidades de produção agropecuária com o produto em questão, incluindo alguns dados cadastrais, a ser usada para calcular e selecionar a amostra. Ela pode ser formada a partir de dados de um censo agropecuário ou similar.

Estratificação. A estratificação das unidades de produção agropecuária serve, neste caso, para garantir a consecução do objetivo principal do trabalho, ou seja, a fiscalização. Como sugerido em Pino, Igue e Amaro (1990), os estratos devem refletir a probabilidade de ocorrência das doenças, isto é, cada doença deve ser procurada onde é mais provável que ela esteja, já que uma planta ou um animal doente pode ser considerado um evento raro, no meio de milhares de espécimes⁵ sadios. Portanto, a amostra deve ser proporcionalmente maior nos estratos em que a probabilidade de encontrar doenças seja mais elevada, até porque fiscalizar em estratos de menor probabilidade pode representar custo desnecessário.

Uma maneira simples de conseguir isso consiste em: a) calcular para cada município o número de ocorrências da doença, ou a relação entre o número de espécimes doentes e o número total de espécimes (ou usar alguma outra variável como aproximação, na suposição de que quanto maior o valor dessa variável, maior a probabilidade de haver ocorrido uma doença) e b) a seguir, os municípios são agrupados em classes, heurísticamente ou de forma estatística (usando, por exemplo, análise de agrupamentos). Note-se que essas proporções são médias, incluindo tanto produtores que fazem a inspeção e o tratamento de forma correta quanto os que não o fazem. Por isso, carregar a amostragem nesses estratos poderá ajudar a cumprir exatamente a finalidade de fiscalização.

As unidades de produção agropecuária podem, ainda, ser classificadas quanto ao número

⁵Espécime entendido como indivíduo representante de uma categoria animal ou vegetal, isto é, um animal ou uma planta.

ro de plantas ou de animais, pois os cuidados fitossanitários ou zoossanitários podem variar com o nível tecnológico do produtor e, este, com o tamanho da exploração.

Cálculo do tamanho da amostra e alocação da amostra nos estratos. A alocação da amostra nos estratos pode ser feita de forma diretamente proporcional ao tamanho N_h e ao desvio padrão S_h da variável Y , bem como ao valor de uma variável ancilar X no estrato h . A variável Y geralmente corresponde à principal variável a ser levantada, isto é, o número de plantas (ou animais) doentes (variável racional); ou, alternativamente, ao percentual de plantas (ou animais) doentes, calculada como a média de uma variável categórica que assume os valores 0 para espécime sadio e 1 para espécime doente. Uma sugestão para a variável ancilar X é o número total de espécimes doentes, tomando o cuidado de não separar num estrato à parte as unidades sem espécimes doentes, para que não resulte $X_h = 0$ nesse estrato. Basta, para tanto, que um dos estratos reúna todas as unidades com até certo valor $z > 0$, isto é, que seja o estrato correspondente ao intervalo fechado $[0; z]$. Então, o tamanho total da amostra é calculado por:

$$n = \sum_{g=1}^H N_g S_g X_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h S_h}{X_h} \left/ \left(C^2 Y^2 + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right. \quad (1)$$

se a variável Y for racional, e por

$$n = \sum_{g=1}^H N_g S_g X_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h S_h}{X_h} \left/ \left(\frac{d^2 N^2}{t^2} + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right. \quad (2)$$

se a variável Y for categórica. Por outro lado, o tamanho da amostra no estrato h é calculado por

$$n_h = \frac{n N_h S_h X_h}{\sum_{g=1}^H N_g S_g X_g} \quad (3)$$

A descrição da notação e a demonstração dessas equações encontram-se no Anexo 1. Disso resulta uma amostra probabilística estratificada de unidades de produção agropecuária,

adequada para o trabalho de fiscalização fitossanitária ou zoossanitária.

Inspeção. Uma vez na unidade de produção agropecuária selecionada, a equipe de fiscalização pode proceder segundo seus próprios métodos de trabalho. Por exemplo, pode separar a fiscalização por espécie e/ou por variedade/raça. Também pode usar procedimentos diferentes para cada doença, como inspecionar todos os espécimes para uma dada doença e apenas uma amostra deles para outra.

Censo ou amostra dentro da unidade de produção agropecuária selecionada. Todas as plantas de todos os talhões (ou todos os animais de todos os rebanhos) devem ser inspecionadas (amostra num único estágio) ou, alternativamente, somente parte delas é inspecionada (amostra em dois ou três estágios). Neste caso, talhões e plantas (ou rebanhos e animais) a inspecionar devem ser selecionados aleatoriamente.

2.2 - Segundo Estágio

Em caso de amostragem dentro da unidade de produção agropecuária, a seleção de plantas e talhões (ou animais e rebanhos) deve basear-se em instruções simples porque, em que pese alta qualificação da equipe de inspeção em seu campo de trabalho, ela geralmente não é treinada para fazer levantamentos estatísticos. Por isso, recomenda-se que os valores do número de talhões (ou rebanhos) a serem sorteados e a proporção de plantas (ou animais) a serem inspecionadas sejam fixados *a priori*.

Um mínimo de 2 talhões (ou rebanhos) devem ser selecionados para inspeção no segundo estágio⁶, usando qualquer procedimento aleatório, por exemplo, uma tabela de números aleatórios. Anotam-se o número de talhões (ou rebanhos) sorteados e o número total de talhões (ou rebanhos), bem como o número total de plantas (ou animais) da unidade de produção agropecuária.

Como o nível tecnológico e o nível de qualidade da autoinspeção tendem a ser seme-

lhantes em todos os talhões (ou rebanhos) de uma mesma unidade de produção agropecuária, não é necessário fiscalizá-los todos, principalmente em grandes unidades produtoras. Portanto, a proporção de talhões (ou rebanhos) fiscalizados pode ser menor quando há muitos talhões (ou rebanhos) e maior quando há poucos. Em particular, um número fixo b (igual a ou maior do que 2) de talhões (ou rebanhos) pode ser sorteado dentro de cada unidade de produção agropecuária selecionada.

2.3 - Terceiro Estágio

Em princípio, todas as plantas do talhão selecionado (ou todos os animais do rebanho selecionado) devem ser examinadas, porém, a inspeção de espécimes quanto a algumas doenças, como cancro cítrico, pode ser demorada, levando à necessidade de um terceiro estágio. Neste caso, uma quota de plantas (ou de animais), isto é, uma a cada q plantas (ou animais), deve ser selecionada sistematicamente para inspeção, por exemplo, $q = 10$ (idealmente, a primeira planta ou animal deve ser selecionado aleatoriamente). Em cada talhão (ou rebanho) devem ser anotados: o número total de espécimes, o número de espécimes inspecionados e o número de espécimes com sintomas de cada doença. No caso de rebanhos, se os animais não puderem ser individualizados e identificados, por falta de registros ou simplesmente porque eles se movem, a seleção aleatória de alguns deles será mais trabalhosa, porém é perfeitamente exequível a operação.

2.4 - Estimação

A estimação não viesada com base em dados obtidos no primeiro estágio pode ser facilmente obtida pelas fórmulas usuais de amostragem estratificada (KISH, 1965). Se os três estágios forem utilizados, a amostra será probabilística em três estágios, com estratificação de unidades de produção agropecuária no primeiro estágio, bem como conglomerados (*clusters*) desiguais do primeiro para o segundo e do segundo para o terceiro estágios: as unidades de produção agropecuária são conglomerados de talhões

⁶O valor mínimo é igual a 2 para permitir o cálculo de variâncias. Obviamente, se houver somente um talhão (ou um rebanho), ele deverá ser selecionado.

(ou rebanhos), enquanto os talhões (ou rebanhos) são conglomerados de plantas (ou animais). A seleção dos elementos da amostra é feita de maneira diferente em cada estágio, de tal forma que no final resulte uma fração amostral constante dentro de cada estrato (a demonstração está no Anexo 2).

No primeiro estágio, as unidades de produção agropecuária são sorteadas, sem reposição, com probabilidade proporcional ao seu tamanho⁷ em termos de número total de talhões (ou de rebanhos). Justifica-se esse procedimento porque se pretende obter amostra equiprobabilística em termos de plantas (ou animais), conforme mostrado no Anexo 2.

Dentro de cada estrato, para evitar a concentração de amostras nas unidades de produção agropecuária com maior número de talhões (ou rebanhos), pode-se utilizar a seleção sistemática dos elementos da amostra, inicialmente ordenados pelo número de talhões (ou rebanhos), procedimento muito comum quando se usa PPS (KISH, 1965, p. 230).

3 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Apresenta-se, a seguir, o caso de sanidade vegetal da citricultura. No Estado de São Paulo,

a fiscalização, a inspeção e a execução das medidas e ações necessárias ao combate das pragas e doenças que possam comprometer a sanidade da população vegetal [...] [são] realizadas sob planejamento, orientação e controle da Coordenadoria de Defesa Agropecuária [CDA], da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SÃO PAULO, 2000),

sendo a questão tratada na Legislação Federal (BRASIL, 1934, 2006). Devido à ocorrência da doença denominada *huanglongbing* (HLB) ou *greening*, o produtor rural de citros é obrigado a realizar vistorias trimestrais para identificar e eliminar plantas com sintomas dessa doença, devendo apresentar dois relatórios anuais à CDA (SÃO PAULO, 2011), à qual cabe fiscalizar as unidades produtoras a fim de identificar a existência de plantas contaminadas (BRASIL, 2008). Em que pese o fato de o Estado de São Paulo ser o principal produtor mundial de laranja para a

⁷Em inglês, *probability proportional to size* (PPS).

fabricação de suco concentrado congelado, a insuficiência de recursos e de tempo hábil para essa fiscalização, envolvendo cerca de 235 milhões de plantas (laranjas, limões e tangerinas) em 2011 (IEA, 2012), levou as instâncias decisórias a considerar a possibilidade de realizar a inspeção por amostragem de unidades produtoras, porém, com metodologia estatística e base científica. Deve-se destacar que o objetivo fundamental dessa fiscalização é verificar o cumprimento do disposto na Instrução Normativa n° 53 (BRASIL, 2008) pelos produtores, bem como detectar falhas na vistoria, mais para evitar o alastramento dessa e de outras doenças, incluindo o cancro cítrico, que para punir. Embora o objetivo não seja obter dados estatísticos para o setor, pode-se tomar como objetivo secundário ou subproduto a obtenção de estatísticas gerenciais para controle da fiscalização e do cumprimento daquela instrução normativa, bem como de novas ocorrências das doenças⁸.

3.1 - Material e Métodos

A relação de produtores, com alguns dados cadastrais, usada para calcular e selecionar a amostra, foi formada a partir dos relatórios enviados pelos produtores à CDA, eventualmente complementada com dados do censo agropecuário paulista, conhecido como projeto LUPA (SÃO PAULO, 2009). Segue-se o esquema amostral geral proposto na seção 2 deste artigo, compreendendo três estágios: no primeiro, unidades de produção agropecuária (UPAs), produtoras de citros, foram classificadas em estratos e depois sorteadas; no segundo, já no campo, talhões de cultura foram relacionados e sorteados dentro das UPAs selecionadas; finalmente, no terceiro, plantas foram sorteadas sistematicamente dentro de cada talhão sorteado.

Inicialmente, calculou-se, para cada município, a relação entre o número de plantas eliminadas devido à ocorrência de doenças (*greening*⁹, cancro cítrico¹⁰, clorose variegada de ci-

⁸A prevalência das doenças pode ser mais bem estudada diretamente sobre os dados apresentados nos relatórios encaminhados pelos produtores ao CDA.

⁹Ver Fundecitrus (2009) para detalhes sobre a doença.

¹⁰Ver Fundecitrus (2008) para detalhes sobre a doença.

tros, declínio, gomose e leprose) e o número total de plantas de citros. A análise de agrupamentos foi utilizada para classificar os municípios quanto à similaridade daquela relação. Utilizou-se o método hierárquico da ligação completa (ou vizinho mais distante), em que a distância entre dois grupos é determinada como a máxima distância entre uma observação em um grupo e uma observação em outro grupo. Em cada etapa do processo de agrupamento calculou-se uma medida de distância para todos os pares de grupos, sendo, então, combinados num único grupo aqueles que apresentaram menor valor da distância, isto é, menor valor máximo (MINGOTI, 2005).

O tamanho da amostra foi calculado pela equação (3) da seção 2.1, usando como variável ancilar a soma de plantas erradicadas devido a *greening* e a cancro, testando-se coeficientes de variação das estimativas com os valores de 2% e 3%.

Para o segundo estágio, fixou-se o valor de dois talhões sorteados em cada UPA selecionada. Para o terceiro, fixou-se o valor de uma a cada dez plantas sorteadas sistematicamente em cada talhão selecionado.

A fim de testar a amostra, pode-se tentar reproduzir alguma variável do cadastro, como o número de plantas erradicadas, embora isso pareça tautológico, à primeira vista, principalmente se essa variável tiver sido utilizada como variável ancilar.

O sorteio das amostras foi feito com o procedimento SURVEYSELECT, enquanto o cálculo das estimativas foi feito com o procedimento SURVEYMEANS, do Statistical Analysis Software® (SAS®), versão 9.2¹¹.

Da totalidade de 645 municípios paulistas, 282 não apresentam a atividade da citricultura. A análise de agrupamentos sobre os restantes resultou em sete grupos de municípios, que constituíram os sete estratos de UPAs para o primeiro estágio (Tabela 1, Figura 1). Nos municípios relativos aos estratos 6, 3, 2 e 5 houve grande percentual de eliminação de plantas por HLB, com 22, 24, 15 e 31 plantas eliminadas a cada mil plantas existentes. No estrato 4 concentraram-se os municípios com maior percentual de eliminação de plantas por cancro cítrico. Nos estratos 7

e 3 concentraram-se os municípios com maior percentual de eliminação de plantas por outras doenças. Finalmente, os municípios com menor percentual de eliminação de plantas por qualquer doença concentraram-se no estrato 1.

O cálculo do tamanho da amostra resultou em 438 unidades amostrais de primeiro estágio (Tabela 2), ao nível de 3%. Para o nível de 2% chegou-se a aproximadamente 1.000 unidades a serem visitadas, sendo inviável a sua aplicação devido aos custos de levantamento.

3.2 - Resultados e Discussão

O Relatório de Vistorias Efetuadas pelos Citricultores¹² para o segundo semestre de 2013 mostra a existência final de quase 197 milhões de plantas, tendo sido erradicadas quase 14 milhões de plantas (6,6% das plantas inicialmente existentes), das quais 4,3 milhões foram erradicadas por motivo de doenças (Tabela 3).

3.2.1 - Falta de resposta

Técnicos da CDA visitaram somente 293 unidades amostradas (67%) (Tabela 2). Esse nível de falta de resposta, devido ao fato de nem todas as unidades terem sido inspecionadas, elimina a possibilidade de cálculos para estimar a prevalência das doenças, por outro lado, reforça a necessidade de adoção de inspeção por amostragem. A consequência mais adversa da falta de resposta verificada aparece na grande perda de precisão das estimativas: embora a amostra tenha sido calculada para fornecer estimativas de percentuais e proporções com 3% de erro amostral, os resultados apresentaram amplitude relativa aos erros amostrais maiores do que os desejados. Os coeficientes de variação das estimativas foram: 6% para o número total de plantas no parque citrícola; 3% e 21% para o número de talhões com pelo menos uma planta sintomática com *greening* ou cancro cítrico, respectivamente; e 16% e 35% para a quantidade de plantas sintomáticas com *greening* ou cancro cítrico, respectivamente.

¹¹Para detalhes, ver SAS (2008).

¹²63% dos produtores entregaram o relatório no prazo, 5% entregaram fora do prazo e os demais faltavam entregar.

TABELA 1 - Estrato de Municípios com Unidades Produtoras de Citros, Conforme a Proporção de Plantas Eliminadas por Doenças, Estado de São Paulo, 2012

Estrato	Proporção (plantas eliminadas por mil plantas existentes)			Número de municípios
	HLB	Cancro cítrico	Outras doenças	
1	3,336	0,153	0,660	296
2	22,349	0,001	1,184	10
3	24,200	0,001	4,929	12
4	5,145	21,446	0,262	2
5	15,217	0,096	0,714	26
6	31,103	0,004	0,718	5
7	0,980	0,513	5,699	12
Soma	-	-	-	363

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados básicos da Coordenadoria de Defesa Agropecuária, Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

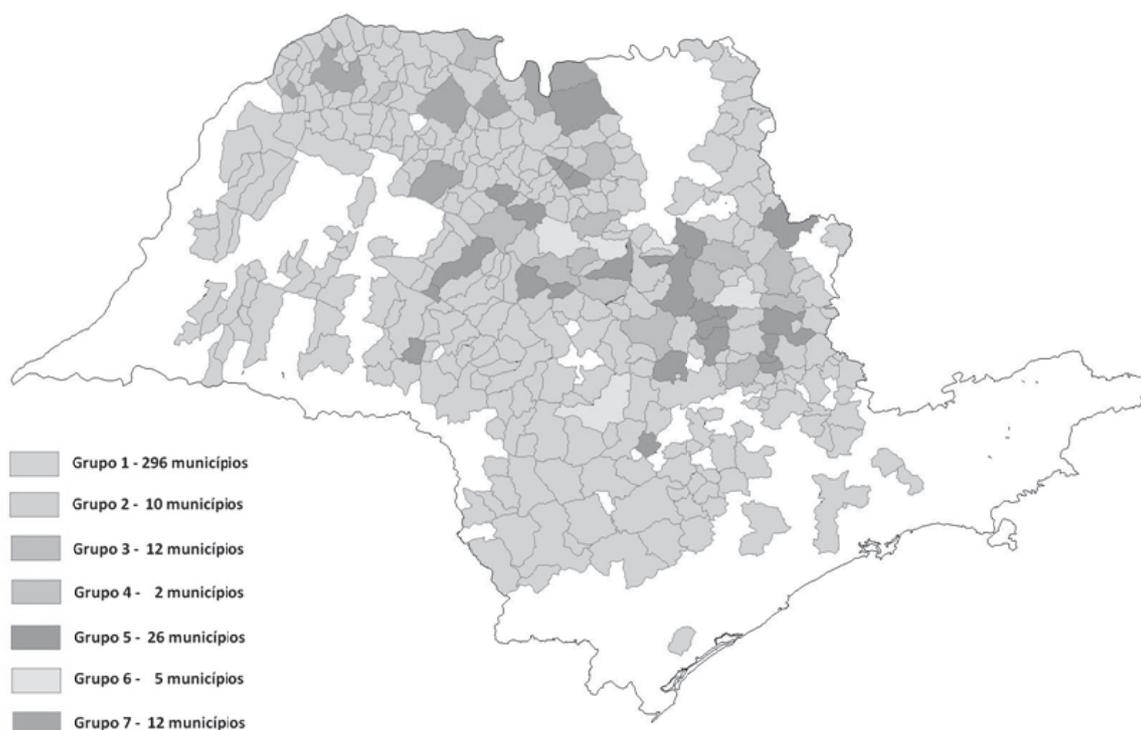


Figura 1 - Distribuição Geográfica dos Municípios por Estrato (Grupo Definido pela Análise de Agrupamentos), Estado de São Paulo, 2012.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados básicos da Coordenadoria de Defesa Agropecuária, Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

3.2.2 - Estimativas

De acordo com os resultados da inspeção de campo, estima-se que as unidades visitadas contassem com quase 101,4 milhões de plantas (Tabela 4), ficando a diferença em rela-

ção aos 197 milhões de plantas informados pelos citricultores em seu relatório (Tabela 3) por conta da falta de resposta.

As plantas encontradas no campo com sintomas de HLB permitem estimar a existência de quase 3,2 milhões de plantas com a doença,

TABELA 2 - Número de Unidades Produtoras de Citros na População e na Amostra, por Estrato, Estado de São Paulo, 2013

Estrato	Unidades produtoras		Unidades visitadas	
	População	Amostra	Número	Percentual
1	6.928	289	204	71
2	1.809	17	8	47
3	3.308	47	20	43
4	57	9	5	56
5	3.217	48	37	77
6	1.522	13	4	31
7	1.134	15	15	100
Soma	17.975	438	293	67

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados básicos da Coordenadoria de Defesa Agropecuária, Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

isto é, 320 plantas com sintomas de HLB a cada 10 mil plantas no talhão. Aplicando esse fator sobre o número de plantas informado pelos citricultores no relatório, obtém-se cerca de 6,3 milhões de plantas com sintoma dessa doença.

As plantas encontradas no campo com sintomas de cancro cítrico levam à estimação da existência de 218 mil plantas com a doença, isto é, 22 plantas com sintomas de cancro cítrico a cada 10 mil plantas no talhão. Aplicando esse fator sobre o número de plantas informado pelos citricultores no relatório, obtém-se cerca de 433 mil plantas com sintomas dessa doença.

TABELA 4 - Resultados da Inspeção no Campo, Citros, Estado de São Paulo, Segundo Semestre de 2013

Variável	Estimativa	
Número total de plantas	101.402.874	± 12.415.329
Número médio de plantas nos talhões sorteados	2.117	± 259
Número de plantas com sintomas de HLB	3.239.113	± 978.825
Número de plantas com sintomas de cancro cítrico	218.445	± 151.801
Número de plantas com sintomas de HLB por de 10 mil plantas no talhão	320	± 101
Número de plantas com sintomas de cancro cítrico por 10 mil plantas no talhão	22	± 15
Número de talhões com sintomas de HLB por 10 mil talhões	6.334	± 393
Número de talhões com sintomas de cancro cítrico por 10 mil talhões	319	± 138

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados básicos da Coordenadoria de Defesa Agropecuária, Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

TABELA 3 - Quantidade de Plantas Erradicadas, Citros, Estado de São Paulo, Segundo Semestre de 2013

Especificação	Motivo	Número de plantas	Percentual
Inicial		209.610.241	100,00
Erradicadas	<i>Greening</i> (HLB)	3.778.058	1,80
	Cancro cítrico	75.621	0,04
	Declínio	84.652	0,04
	CVC	143.145	0,07
	Gomose	129.911	0,06
	Leprose	99.213	0,05
	Reforma do talhão	1.028.801	0,49
	Mudança de cultura	4.622.823	2,21
	Outros motivos	3.792.713	1,81
	Soma	13.754.937	6,56
Replantadas		1.068.737	
Final		196.623.871	

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do Relatório de Vistorias Efetuadas pelos Citricultores, Coordenadoria de Defesa Agropecuária, Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SÃO PAULO, 2011).

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O procedimento sugerido pode ser testado em diferentes situações de cultivo ou de criação. A amostra proposta para citros, por exemplo, poderá, no futuro, ser aprimorada com a discriminação de espécies citrícolas ou mesmo de variedades dentro da espécie, principalmente para laranja.

LITERATURA CITADA

ATHIE JUNIOR, J. et al. Incidência de huanglongbing (greening) em citrus na região de Araraquara. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 27, n. 2, p. 251-262, 2006.

BRASIL. Decreto n. 5.741, de 30 de março de 2006. Regulamenta os arts. 27-A, 28-A e 29-A da Lei n. 8.171, de 17 de janeiro de 1991, organiza o Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 31 mar. 2006.

_____. Decreto n. 24.114, de 12 de abril de 1934. Aprova o Regulamento de Defesa Sanitária Vegetal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 maio. 1934.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 53, de 16 de outubro de 2008. Estabelece critérios e procedimentos para a realização dos levantamentos de ocorrência da praga denominada Huanglongbing (HLB) - Greening. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 out. 2008.

CUNHA, E. M. S. et al. Prevalência de anticorpos contra agentes virais em equídeos no sul do estado de São Paulo. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 2, p. 165-171, abr./jun. 2009.

FUNDAMENTAL SAMPLING TECHNIQUES. **One-stage cluster sampling**. Montparnasse. Disponível em: <<http://modelosistemas.azc.uam.mx/textos/muestreo/onestclust.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA - FUNDECITRUS. **Manual técnico**: cancro cítrico. Araraquara: FUNDECITRUS, maio 2008. 11 p.

_____. **Manual técnico**: greening. Araraquara: FUNDECITRUS, jul. 2009. 11 p.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Banco de dados**. São Paulo: IEA. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1>. Acesso em: 7 maio 2012.

KISH, L. **Survey sampling**. New York: Wiley, 1965. 643 p.

LARA, M. C. C. S. H. et al. Inquérito sorológico de lentiviruses de pequenos ruminantes (Maedi-Visna e artrite/encefalite caprina) no estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 50, n. 1, p. 18-25, 2013.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 295 p.

PINO, F. A.; IGUE, T.; AMARO, A. A. Delineamento amostral para levantamento de cancro cítrico no Estado de São Paulo. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 61-71, 1990.

SÃO PAULO (Estado). Decreto n. 45.211, de 19 de setembro de 2000. Regulamenta a Lei n. 10.478, de 22 de dezembro de 1999 que dispõe sobre a adoção de medidas de defesa sanitária vegetal no âmbito do Estado e dá providências correlatas. **Diário da União**, São Paulo, 19 set. 2000.

_____. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 1997. v. 4.

_____. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário das unidades de produção do Estado de São Paulo - Projeto LUPA 2007/08**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, mar. 2009.

_____. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Defesa Agropecuária. **Relatório semestral de inspeção do greening**: manual do usuário. Campinas: SAA/CDA. (Versão 1.0. 17 p). Disponível em: <http://www.cda.sp.gov.br/greening/login_ctr/login_ctr.php>. Acesso em: 14 dez. 2011.

STATISTICAL ANALYSIS SOFTWARE - SAS. **SAS/STAT® 9.2. user's guide**. Cary: SAS, 2008.

YAMANE, T. **Elementary sampling theory**. New York: Prentice-Hall, 1967a.

_____. **Statistics**: an introductory analysis. 2. ed. New York: Harper and Row, 1967b. 919 p.

**UM PROCEDIMENTO PARA INSPEÇÃO FITOSSANITÁRIA (OU ZOOSSANITÁRIA)
POR AMOSTRAGEM DE PLANTAS (OU ANIMAIS)**

RESUMO: *Propõe-se um delineamento amostral probabilístico com base estatística para orientar agências governamentais responsáveis pela inspeção de doenças vegetais e animais em unidades de produção agropecuária. No primeiro estágio, essas unidades são estratificadas de acordo com alguma medida da prevalência ou da probabilidade de ocorrência da doença. Então, essas unidades são selecionadas aleatoriamente, com probabilidade proporcional ao tamanho, medido pelo número de talhões (ou rebanhos). No segundo estágio, um número fixo de talhões (ou rebanhos) é selecionado aleatoriamente de forma equiprobabilística em cada unidade de produção agropecuária selecionada. No terceiro estágio, plantas (ou animais) são selecionadas sistematicamente de forma equiprobabilística em cada talhão (ou rebanho) selecionado. Embora um pouco trabalhoso no escritório, esse delineamento facilita o trabalho de campo. Como exemplo de aplicação, o esquema é testado na inspeção de pomares de citros, à procura de doenças como greening, cancro cítrico e outras. No exemplo, os estratos são obtidos agrupando-se municípios de acordo com a proporção de plantas eliminadas devido a essas doenças, usando análise de agrupamentos.*

Palavras-chave: *controle de doenças de plantas, saúde animal, inspeção no campo, levantamento epidemiológico amostral, greening (HLB), cancro cítrico.*

**A PROCEDURE FOR PHYTOSANITARY (OR ZOOSANITARY) INSPECTION BY
SAMPLING PLANTS (OR ANIMALS)**

ABSTRACT: *A statistically based probabilistic sample design is proposed in order to advise governmental agencies answerable for plant and animal disease inspection on farms. In the first stage, farms are stratified according a measure of the disease prevalence or the disease odds. Then, farms are randomly selected with probability proportional to size, measured by the number of plots (or herds). In the second stage, a fixed number of plots (or herds) is randomly selected with equal probabilities on each selected farm. In the third stage, plants (or animals) are systematically selected with equal probabilities on each selected plot (or herd). Although a little troublesome in the office work, it is designed in a way to favor field work. As an application example, the scheme is tested on the inspection of citrus orchards, looking for diseases such as greening, citrus canker and others. In the example, strata are obtained by grouping municipalities according to the proportion of eradicated trees due to these diseases, using cluster analysis.*

Key-words: *plant disease control, animal health control, field inspection, epidemiological sample survey, greening (HLB), citrus canker.*

Recebido em 01/02/2013. Liberado para publicação em 02/09/2014.

**UM PROCEDIMENTO PARA INSPEÇÃO FITOSSANITÁRIA (OU ZOOSSANITÁRIA)
POR AMOSTRAGEM DE PLANTAS (OU ANIMAIS)**

Anexo 1

Cálculo do Tamanho de Uma Amostra Estratificada

Notação. Dado que se pretende obter estimativas para uma variável **Y** qualquer, considere-se a seguinte notação:

H : número de estratos;

N : tamanho da população (número de elementos na população);

N_h : tamanho da população (número de elementos na população) no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;

n : tamanho da amostra (número de elementos na amostra);

n_h : tamanho da amostra (número de elementos na amostra) no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;

W_h : peso do estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;

Y : total da variável **Y** na população;

Y_h : total da variável **Y** na população, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;

\bar{Y} : média da variável **Y** na população;

S_h : desvio padrão dos elementos da variável **Y** na população, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;

V : desvio padrão da estimativa da média da variável **Y**, com amostra de tamanho n ;

V_h : desvio padrão da estimativa da média da variável **Y**, com amostra de tamanho n_h , no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;

C : coeficiente de variação da estimativa da média da variável **Y**, com amostra de tamanho n ;

d : semi-amplitude do intervalo de confiança da estimativa da média da variável **Y**, com amostra de tamanho n ;

t : valor da estatística t de Student para o intervalo de confiança da estimativa da média da variável **Y**, com amostra de tamanho n . Geralmente usa-se o valor $t = 1,96$;

X : total da variável ancilar (ou auxiliar) **X** na população; e

X_h : total da variável ancilar (ou auxiliar) **X** na população, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$.

Alocação da amostra nos estratos. A alocação da amostra nos estratos pode ser feita proporcionalmente a um conjunto de variáveis α , de tal modo que:

$$n_h = nk\alpha_h$$

onde k é uma constante de proporcionalidade. Então,

$$\sum_{h=1}^H n_h = nk \sum_{h=1}^H \alpha_h$$

$$n = nk \sum_{h=1}^H \alpha_h$$

de onde se obtém o valor de k (a troca de índice serve apenas para evitar confusão):

$$k = \frac{1}{\sum_{h=1}^H \alpha_h} = \frac{1}{\sum_{g=1}^H \alpha_g}$$

onde a mudança de índice de h para g não altera o resultado. Portanto, a alocação da amostra nos estratos pode ser feita por:

$$n_h = \frac{n\alpha_h}{\sum_{g=1}^H \alpha_g} \quad (1)$$

Alguns dos conjuntos de variáveis α que podem ser usados são os seguintes:

- $\alpha_h = N_h$ (alocação diretamente proporcional ao tamanho N_h do estrato);
- $\alpha_h = N_h S_h$ (alocação diretamente proporcional ao tamanho N_h e ao desvio padrão S_h da variável Y no estrato);
- $\alpha_h = N_h S_h / \sqrt{J_n}$ (alocação diretamente proporcional ao tamanho N_h e ao desvio padrão S_h da variável Y no estrato, bem como inversamente proporcional ao custo J_h por elemento levantado no estrato); e
- $\alpha_h = N_h S_h X_h$ (alocação diretamente proporcional ao tamanho N_h e ao desvio padrão S_h da variável Y , bem como ao valor de uma ancilar X). Note-se que, se $X_h = 1$, para todo h , recai-se no caso (b).

Os três primeiros aparecem em Kish (1965), mas o quarto é especialmente importante para o estudo apresentado neste artigo.

Variâncias. A variância dos elementos da variável Y na população, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$ é obtida da maneira usual (KISH, 1965) por:

$$S_h^2 = \frac{1}{N_h} \left[\sum_{i=1}^{N_h} Y_{hi}^2 - \frac{1}{N_h} \left(\sum_{i=1}^{N_h} Y_{hi} \right)^2 \right]$$

onde Y_{hi} é o valor da variável Y para o i -ésimo elemento do estrato h . Também a variância da estimativa da média da variável Y , com amostra de tamanho n_h , no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$ é obtida da maneira usual (KISH, 1965), por:

$$V_h^2 = \left(1 - \frac{n_h}{N_h} \right) \frac{S_h^2}{n_h}$$

Então, a variância da estimativa da média da variável Y , com amostra de tamanho n é dada por:

$$V^2 = \sum_{h=1}^H W_h^2 V_h^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H N_h^2 V_h^2$$

Substituindo o valor de V_h ,

$$\begin{aligned} V^2 &= \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H N_h^2 \left(1 - \frac{n_h}{N_h} \right) \frac{S_h^2}{n_h} = \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H \left(\frac{N_h^2}{n_h} - N_h \right) S_h^2 \end{aligned}$$

Substituindo o valor de n_h ,

$$V^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H \left(\frac{N_h^2 \sum_{g=1}^H \alpha_g}{n \alpha_h} - N_h \right) S_h^2$$

$$V^2 + \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 = \frac{1}{nN^2} \sum_{g=1}^H \alpha_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h^2 S_h^2}{\alpha_h}$$

Tamanho da amostra. Da última equação obtém-se:

$$n = \frac{1}{N^2} \sum_{g=1}^H \alpha_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h^2 S_h^2}{\alpha_h} \left/ \left(V^2 + \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right.$$

Se **Y** for uma variável racional, então,

$$V^2 = C^2 \bar{Y}^2 = C^2 \frac{Y^2}{N^2}$$

e segue-se que

$$n = \sum_{g=1}^H \alpha_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h^2 S_h^2}{\alpha_h} \left/ \left(C^2 Y^2 + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right.$$

(2)

Se **Y** for uma variável categórica, então,

$$V^2 = \frac{d^2}{t^2}$$

e segue-se que

$$n = \sum_{g=1}^H \alpha_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h^2 S_h^2}{\alpha_h} \left/ \left(\frac{d^2 N^2}{t^2} + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right.$$

(3)

Essas equações são gerais. Como neste artigo utiliza-se $\alpha_h = N_h S_h X_h$, então,

$$n = \sum_{g=1}^H N_g S_g X_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h^2 S_h^2}{N_h S_h X_h} \left/ \left(C^2 Y^2 + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right.$$

$$n = \sum_{g=1}^H N_g S_g X_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h S_h}{X_h} \left/ \left(C^2 Y^2 + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right.$$

(4)

se a variável **Y** for racional, e

$$n = \sum_{g=1}^H N_g S_g X_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h^2 S_h^2}{N_h S_h X_h} \left/ \left(\frac{d^2 N^2}{t^2} + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \right.$$

$$n = \sum_{g=1}^H N_g S_g X_g \sum_{h=1}^H \frac{N_h S_h}{X_h} / \left(\frac{d^2 N^2}{t^2} + \sum_{h=1}^H N_h S_h^2 \right) \quad (5)$$

se a variável **Y** for categórica¹³.

Fixando os valores de C ou d e calculando N , N_h , Y , X_h e S_h a partir de um cadastro ou de uma amostra piloto, é possível calcular n . É comum em aplicações utilizar $C = 0,05$ (ou 5%), para variáveis racionais, ou $d = 0,03$ (3 pontos percentuais para mais ou para menos) para variáveis categóricas.

Usando (4) e (5) podem-se obter amostras menores do que as que seriam obtidas quando se calcula o tamanho n da amostra a partir de S , o desvio padrão dos elementos da variável **Y** na população inteira, aplicando-se depois (1) apenas para alocar a amostra nos estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$. Espera-se que isso aconteça sempre que os estratos forem bem construídos, isto é, que cada estrato seja menos variável do que a população inteira.

¹³Se $N_g = N$ para qualquer $g = 1, 2, \dots, H$, se $X_g = 1$ para qualquer $g = 1, 2, \dots, H$, e se $X_h = 1$ para qualquer $h = 1, 2, \dots, H$, então (5) reduz-se à fórmula de Yamane (1967a, 1967b) para cálculo do tamanho de uma amostra estratificada.

Anexo 2

Cálculo da Fração Amostral e Expansão da Amostra

Notação. Para o cálculo da fração amostral, considere-se a seguinte notação:

- f_h : fração amostral geral no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 $f_h^{(1)}$: fração amostral no primeiro estágio, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 $f_h^{(2)}$: fração amostral no segundo estágio, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 $f_h^{(3)}$: fração amostral no terceiro estágio, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 A_h : número de unidades de primeiro estágio (unidades de produção agropecuária) na população, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 a_h : número de unidades de primeiro estágio (unidades de produção agropecuária) na amostra, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 B_{hi} : número de unidades de segundo estágio (talhões ou rebanhos) na população, na i -ésima unidade de produção agropecuária, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 b_{hi} : número de unidades de segundo estágio (talhões ou rebanhos) na amostra, na i -ésima unidade de produção agropecuária, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$;
 E_{hij} : número de unidades de terceiro estágio (plantas ou animais) na população, no j -ésimo talhão (ou rebanho), da i -ésima unidade de produção agropecuária, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$; e
 e_{hij} : número de unidades de terceiro estágio (plantas ou animais) na amostra, no j -ésimo talhão (ou rebanho), da i -ésima unidade de produção agropecuária, no estrato h , com $h = 1, 2, \dots, H$.

A probabilidade de seleção de um elemento qualquer (espécime) da população (ou fração amostral) no estrato h é dada por:

$$\begin{aligned} f_h &= f_h^{(1)} \times f_h^{(2)} \times f_h^{(3)} = \\ &= P(A_h) \times P(B_{hi}|A_h) \times P(E_{hij}|A_h B_{hi}) \end{aligned} \quad (1)$$

Terceiro estágio. Para facilitar o trabalho de campo, uma quota de plantas (ou de animais) isto é, uma a cada q plantas (ou animais) deve ser selecionada sistematicamente para inspeção. Então,

$$f_h^{(3)} = P(E_{hij}|A_h B_{hi}) = \frac{e_{hij}}{E_{hij}} = \frac{1}{q}$$

quaisquer que sejam h, i, j .

Segundo estágio. Ainda para facilitar o trabalho de campo, um número fixo $b \geq 2$ de talhões (ou rebanhos) deve ser sorteado dentro de cada unidade de produção agropecuária selecionada. Então,

$$f_h^{(2)} = P(B_{hi}|A_h) = \frac{b_{hi}}{B_{hi}} = \frac{b}{B_{hi}}$$

quaisquer que sejam h, i .

Primeiro estágio. Para que a probabilidade de seleção de cada planta (ou animal) seja igual, isto é, para que a amostra de plantas (ou animais) seja equiprobabilística, é preciso selecionar as unidades de produção agropecuária com probabilidade proporcional ao seu tamanho (*PPS - probability proportional to size*), em termos de número de talhões (ou rebanhos), isto é,

$$f_h^{(1)} = P(A_h) = \frac{a_h}{A_h} \times \frac{B_{hi}}{B_h}$$

com o número total de talhões (ou rebanhos) nas unidades de produção agropecuária selecionadas no estrato h sendo dado por:

$$B_h = \sum_{i=1}^{n_h} B_{hi}$$

Fração amostral. Neste caso, a fração amostra geral será:

$$f_h = \frac{a_h}{A_h} \times \frac{B_{hi}}{B_h} \times \frac{b}{B_{hi}} \times \frac{1}{q} = \frac{a_h}{A_h} \times \frac{1}{B_h} \times \frac{b}{q} \quad (2)$$

que é constante para cada estrato h , no sentido de que não depende de qual talhão (ou rebanho) nem de qual planta (ou animal) foi sorteado. Portanto, cada planta (ou animal) tem igual probabilidade de ser selecionada dentro de cada estrato. O uso de probabilidade proporcional ao tamanho também ajuda a controlar o tamanho de subamostras nos vários estágios (KISH, 1965).

Expansão da amostra. Se a probabilidade de seleção de cada planta (ou animal) for igual dentro de cada estrato, o número de plantas doentes D_h da população pode ser estimado de forma não viesada por:

$$\hat{D}_h = F_{hij} d_{hij} = \frac{1}{f_h} d_{hij} \quad (3)$$

onde:

d_{hij} representa o número de plantas (ou animais) com sintomas de doença no talhão (ou rebanho) j dentro da unidade de produção agropecuária i no estrato h na amostra; e

F_{hij} representa o peso ou fator de expansão no talhão (ou rebanho) j dentro da unidade de produção agropecuária i no estrato h .

Estatística ancilar. Se o número de talhões (ou rebanhos) de cada unidade de produção agropecuária (B_{hi}) não estiver disponível no cadastro, uma estatística ancilar ou auxiliar poderá ser utilizada em seu lugar (KISH, 1965, p. 204; FUNDAMENTAL SAMPLING TECHNIQUES, 2012). Pode-se utilizar, por exemplo, o número total de plantas (na suposição de que o tamanho dos talhões não seja excessivamente variável), ou o número de plantas erradicadas.