

APLICAÇÃO DA AMOSTRAGEM SEQUENCIAL PARA MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE ATAQUE DE *Sirex noctilio* EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*

Susete do Rocio Chiarello Penteadó*; Edilson Batista de Oliveira*; Edson Tadeu Iede*

RESUMO

Devido à grande ameaça que *Sirex noctilio* (vespa-da-madeira) representa para o setor florestal brasileiro é de fundamental importância o monitoramento da praga. Para isto, torna-se necessária a definição de uma técnica de amostragem de danos, que leve em conta a grande extensão dos povoamentos de *Pinus*, os níveis de ataque da praga, a praticidade de aplicação do método e os custos da atividade. Neste trabalho foi desenvolvido um método de amostragem onde a amostra não tem tamanho fixo, sendo dimensionada à medida em que a amostragem vai sendo realizada, em função dos resultados obtidos. Através da utilização de uma tabela apropriada, pode-se verificar, rapidamente, a nível de campo, se o número de amostras é suficiente, ou se a amostragem deve continuar sendo realizada. São discutidos, também, aspectos ligados ao procedimento, tais como: forma de caminhamento e época de realização da amostragem.

ABSTRACT

Sirex noctilio (the wood wasp) is a serious treat to pine plantations in Brazil, and monitoring it is of utmost importance. This monitoring required the development of a sampling technique which took into account the large area attacked by the pest, practicability and cost effectiveness. This paper presents a sampling method in which sample size changes while during sampling according to initial results. The use of a table allows the instant determination of sample size at the field. Other sampling procedures are also discussed.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil existem cerca de 6 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo que 2 milhões referem-se a plantios de **Pinus**. Destes, aproximadamente 1 milhão estão concentrados na região sul. Entretanto, devido à inadequação das práticas silviculturais, observa-se a existência de extensas áreas

*Pesquisadores da Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, Km 111. Cx. Postal 319. CEP. 83.411-000. Colombo, PR, BR. Trabalho apresentado no " Primer Congresso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, Chile, 1998.

reflorestadas em precárias condições fitossanitárias, tornando os plantios mais suscetíveis ao ataque de pragas e doenças e expondo-os a perdas imprevisíveis. Enquadra-se neste caso, a ocorrência da vespa-da-madeira, **Sirex noctilio** (Hymenoptera: Siricidae), originária da Europa, Ásia e norte da África, e detectada pela primeira vez no Brasil em fevereiro de 1988, atingindo, em 1998, cerca de 250 mil hectares de povoamentos de **Pinus** spp. localizados nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

Para o controle de **S. noctilio**, foi criado no Brasil, em 1989, o Fundo Nacional de Controle à Vespa-da-Madeira (FUNCEMA), que possibilitou a implantação do Programa Nacional de Controle à Vespa-da-Madeira (PNCVM). Este programa tem dado prioridade ao controle biológico, pela utilização do nematóide **Deladenus siricidicola** e dos parasitóides **Ibalia leucospoides**, **Megarhyssa nortoni** e **Rhyssa persuasoria**, como também, à adoção de medidas silviculturais adequadas ao manejo de talhões de **Pinus**.

O monitoramento da dispersão da praga e a definição da área atacada são atividades essenciais em um programa de controle deste inseto. Entretanto, isto requer a determinação de uma metodologia amostral que leve em conta, principalmente, a grande extensão dos povoamentos de **Pinus**, os níveis de ataque da praga, a praticidade de aplicação do método e os custos da atividade.

No presente trabalho, procurou-se definir um método de amostragem que priorizasse a redução dos custos e ao mesmo tempo oferecesse precisão nos resultados. O estudo teve por base a metodologia da amostragem sequencial, que apresentou-se como a alternativa mais viável, em função de não manter um tamanho fixo de amostra, mas possibilitar a sua definição em função dos resultados obtidos, durante os levantamentos amostrais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com Haugen et al. (1990), as opções disponíveis para o monitoramento de **Sirex** em plantios de **Pinus** caracterizam-se pela baixa precisão e pelo alto custo operacional, ressaltando a necessidade do desenvolvimento de métodos mais práticos e econômicos.

A amostragem aérea, com o mapeamento das árvores atacadas e a subsequente comprovação através da realização de uma amostragem terrestre, tem sido o procedimento usual para o monitoramento de áreas atacadas por **S. noctilio**, na Austrália. Contudo, as árvores dominadas não são facilmente visíveis por inspeção aérea e este tipo de avaliação não é recomendada, principalmente, em casos de ataques inferiores a 5%. A utilização de fotografias aéreas pode ser um método eficiente, entretanto a técnica necessita ser melhor investigada (Haugen et al., 1990).

O National Sirex Co-ordination Committee (1991) recomendou, inicialmente, a realização de uma amostragem aérea, com o objetivo de avaliar grandes áreas e possibilitar a estratificação destas, em áreas menores, para posterior amostragem via terrestre. Na amostragem terrestre, foi recomendada a utilização de transectos, com a verificação de todas as árvores existentes ao longo de duas filas. Por este método, o número de árvores a serem avaliadas, por talhão, geralmente é variável, sendo, no entanto, necessária a amostragem de pelo menos 2 a 3% do total de árvores, ou seja, em torno de 500 árvores por talhão.

Penteado et al. (1993) utilizaram a teoria da amostragem sequencial para desenvolver um método para avaliação dos níveis de ataque de **S. noctilio** em plantios de **Pinus** spp.

De acordo com Waters (1955), a amostragem sequencial caracteriza-se por utilizar um tamanho de amostra flexível, em contraste aos procedimentos convencionais, os quais, usualmente, especificam um número fixo de unidades amostrais. Os dados da unidade amostral podem ser contados ou simplesmente registrados como presente ou ausente, sendo despendido um tempo menor para a realização da atividade.

Wald (1943) introduziu este tipo de amostragem durante a segunda guerra mundial, para uso em avaliações rápidas de qualidade da produção massal de materiais. Morris (1954) e Waters (1955) adaptaram o método para utilização em amostragem de infestações de pragas em plantios florestais.

Para Waters (1955), a amostragem sequencial é mais aplicável em avaliações cuja função seja determinar a extensão e severidade de infestações, visando definir a necessidade de utilização de medidas de controle, onde a velocidade e a precisão são essenciais. Também pode ser utilizada para comprovação de dados obtidos em inspeções aéreas, permitindo uma avaliação mais rápida e mais precisa de toda a área.

De acordo com Fowler (1988), quando compara-se o método da amostragem sequencial à amostragem com tamanho fixo de amostras, verifica-se que, na primeira, ocorre uma redução no tamanho, entre 40 e 60%.

Outro aspecto a ser considerado na utilização da amostragem sequencial, é o modelo de caminhamento para a realização das inspeções, o qual deverá sempre considerar a distância percorrida e o tempo despendido, além de propiciar a máxima cobertura da área (Fernandes, 1987).

Em relação à época de realização da amostragem, tanto aérea, como terrestre, o National Sirex Co-ordination Committee (1991) recomendou que esta seja realizada entre a metade de maio e final de julho. Avaliações realizadas antes deste período podem acarretar na perda de registro das árvores atacadas no final do período de emergência do inseto, mas poderão informar, com antecedência, o número de árvores que deverão ser inoculadas com o nematóide. Avaliações realizadas após julho, dificultariam a identificação de árvores atacadas, entretanto resultariam em melhor estimativa da mortalidade total do período.

Quanto à distribuição espacial das árvores atacadas por **S. noctilio** em povoamentos de **Pinus** spp., o National Sirex Co-ordination Committee (1991) verificou que não é comum a ocorrência de reboleiras.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos teóricos foram baseados em Penteado et al. (1993).

Como a variável que está sendo avaliada trata-se da porcentagem de árvores atacadas, os parâmetros da distribuição binomial podem ser utilizados no dimensionamento da amostra. Exceção se faz a níveis muito baixos, onde os parâmetros da distribuição de Poisson seriam mais adequados (Meyer, 1983).

Tomando-se por base o intervalo de confiança da distribuição binomial (IC), tem-se:

$$IC = p \pm z \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

onde:

p = proporção de árvores atacadas;

z = valor obtido na tabela de distribuição de frequência acumulada normal;

n = número de árvores amostradas.

O valor de z dependerá do nível de confiança desejado para a estimativa e poderá ser utilizado nos casos em que a distribuição binomial se aproxime da distribuição normal. Esta condição pode ser verificada, calculando-se a média, $m=np$ e o desvio padrão, $s=\sqrt{npq}$, da distribuição binomial. A aproximação será considerada boa se o intervalo $m \pm 2s$, que abrange 95% dos pontos, estiver contido entre os limites atingidos pela distribuição binomial, zero e n (Mendenhall, 1985).

Os limites do Intervalo de confiança de (p) podem ser escritos, também, em termos do erro tolerável da amostra (E), onde:

$$E = z \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

O erro tolerável (E) para a estimativa do percentual de árvores atacadas (p), deverá ser estabelecido, em função de percentuais fixos ou em função de percentuais do valor de (p). O cálculo de n é obtido através da seguinte expressão:

$$n = \frac{z^2 p(1-p)}{E^2}$$

Como exemplo, para um percentual de árvores atacadas de 10%, se for considerado um erro tolerável de 5%, com a probabilidade de 95%, tem-se:

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot 0,1 \cdot 0,9}{(0,05)^2} = 138$$

Caso fosse considerado um erro de 3%, o valor de n seria:

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot 0,1 \cdot 0,9}{(0,03)^2} = 384$$

Verifica-se que, para aumentar a precisão da estimativa de 5% para 3%, a amostra teria que ser aumentada em mais que o dobro, implicando em acréscimos de tempo e trabalho e, conseqüentemente, dos custos da operação.

Na Figura 1, foram considerados diferentes valores para Z (89, 85, 90 e 95%) e feita uma correlação com o tamanho da amostra. Estes dados foram

utilizados para definir o melhor nível de precisão e o erro amostral, para a elaboração da Tabela 1.

Para a validação do método foram realizados censos em duas áreas, com 5 ha cada, localizados no município de Lages, SC, br. Na área n.º 1, foi realizado um censo em outubro de 1993, outro em junho de 1995 e outro em abril de 1996. Na área n.º 2, o censo foi realizado em junho de 1994. Em cada povoamento foram aplicadas, aleatoriamente, 10 amostragens sequenciais, sendo que na área 1, este procedimento foi repetido para as três épocas de realização dos censos. Também procurou-se definir uma forma de caminhar onde fosse possível uma melhor cobertura da área amostrada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na definição do tamanho adequado da amostra, o valor do erro tolerável (E) pode ser estabelecido, basicamente, por dois métodos: (1) através de percentuais do próprio nível de ataque, e (2) em função de percentuais fixos e independentes do nível de ataque. Entretanto, nenhum método deve ser adotado isoladamente, mas sim em conjunto, observando-se a praticidade e o custo da amostragem.

Ao se utilizar o método (1) o valor de n tende a ficar muito elevado para níveis de ataque baixos e estaria sendo utilizado um rigor excessivo na precisão desejada. Por outro lado, ocorre o contrário para o método (2), que proporcionaria muito rigor na precisão para percentuais elevados de ataque e baixo rigor para níveis de ataque reduzidos.

No presente trabalho, considerou-se um erro tolerável de $\frac{1}{5}$ da média e o valor de Z a 90%, para percentuais de árvores atacadas até 20%. Nos níveis inferiores a 20%, o tamanho da amostra foi fixado e, conseqüentemente, os valores de (E) tornaram-se maiores que o estabelecido anteriormente, aumentando com a diminuição dos percentuais de árvores atacadas. Este procedimento foi adotado porque a não fixação de n implicaria em um grande aumento do tamanho da amostra, podendo levar à ocorrência de erros não amostrais e, também, tornando o método pouco prático e econômico.

A Tabela 1 foi elaborada com um tamanho mínimo da amostra de 68 árvores e máximo de 272 árvores. Na Figura 2 são apresentados os resultados da aplicação da amostragem sequencial e dos censos realizados nas áreas 1 e 2.

A utilização da Tabela 1 permite que, em áreas onde o nível de ataque é alto, como na área 2, com a avaliação de cerca de 70 árvores, já é possível se interromper a amostragem (Figura 2). Nos casos de níveis de ataque mais baixos, como verificado na área 1, nas três épocas avaliadas, é necessária a amostragem do número máximo de árvores requerido na tabela (Figura 2).

A metodologia definida pelo National Sirex Co-ordination Committee (1991), determina um número fixo de amostras por talhão. Fowler (1988) verificou que, quando compara-se o método da amostragem sequencial à amostragem com tamanho fixo de amostras, na primeira, ocorre uma redução no tamanho desta, entre 40 e 60%. No presente trabalho, observou-se que, quando o nível de ataque era alto (área 2), na maioria das vezes, a amostragem de cerca de 70 árvores era suficiente, enquanto que, o National Sirex Co-ordination

Committee (1991) referiu-se à amostragem por transectos com a utilização de um tamanho de amostra superior a 500 árvores por talhão. Neste caso, comparando os dois métodos, nota-se uma redução no tamanho da amostra, na amostragem sequencial, de pelo menos, 86%. Nos níveis de ataque mais baixos, como encontrado na área 1, nas três épocas, ocorre um aumento do tamanho da amostra para 272 árvores, entretanto, mesmo assim, tem-se uma redução de, pelo menos, 45%, quando comparado à amostragem por transectos.

Com relação à forma de caminhar, adotou-se o procedimento de se caminhar ao longo de uma linha, onde foram avaliadas o máximo de 40 árvores por linha. Quando este número era atingido, intercalava-se três linhas e retornava-se na quinta linha, avaliando-se um máximo de 40 árvores e assim sucessivamente, até o término da amostragem. Verificou-se que este procedimento permitiu uma boa cobertura da área, onde, comparando-se os resultados das amostragens com os censos (Tabela 2), obteve-se uma pequena variação. Entretanto, recomenda-se que, em talhões com áreas superiores a 10 ha, sejam intercaladas 8 linhas em vez de 3, permitindo uma abrangência maior da amostragem na área que está sendo avaliada.

Quanto à distribuição das árvores atacadas no campo, verificou-se que esta geralmente ocorre aleatoriamente, sem concentração de plantas atacadas, tanto nos povoamentos com níveis de ataque mais baixos, quanto no povoamento com alto nível de ataque. Isto também foi observado pelo National Sirex Coordination Committee (1991). Este fato contribui para a obtenção de resultados mais precisos durante a realização do procedimento amostral.

Para a definição do número de amostragens a serem realizadas e a sua relação com o tamanho da área, poderão ser utilizados os critérios de inventário florestal, onde um talhão é caracterizado em função do tipo de solo, relevo, regime de manejo, idade, densidade, etc. Assim, deverá ser aplicada uma amostragem sequencial para cada 20 ha, em áreas homogêneas. Entretanto, se em um mesmo talhão ocorrerem situações que possam favorecer o estresse das árvores, é recomendada a realização de pelo menos mais uma amostragem, sendo que, neste caso, para o cálculo da porcentagem de árvores atacadas, deve-se fazer a média entre as duas amostragens.

Em relação à época de realização da amostragem, esta deverá ser definida em função de seu objetivo. Como no Brasil o período de ocorrência de adultos de **S. noctilio** compreende, geralmente, a segunda quinzena de outubro e a primeira quinzena de janeiro, as amostragens que forem realizadas entre os meses de março/abril, poderão indicar, além do nível de ataque, também o número de árvores a serem inoculadas com o nematóide. Aquelas realizadas posteriormente (junho/julho), permitirão o cálculo da mortalidade total do período, entretanto poderão prejudicar o planejamento das atividades de aplicação de nematóides, conforme observado também pelo National Sirex Coordination Committee (1991). Entretanto, no Brasil, a maioria das árvores atacadas são mais facilmente identificadas entre os meses de março e maio.

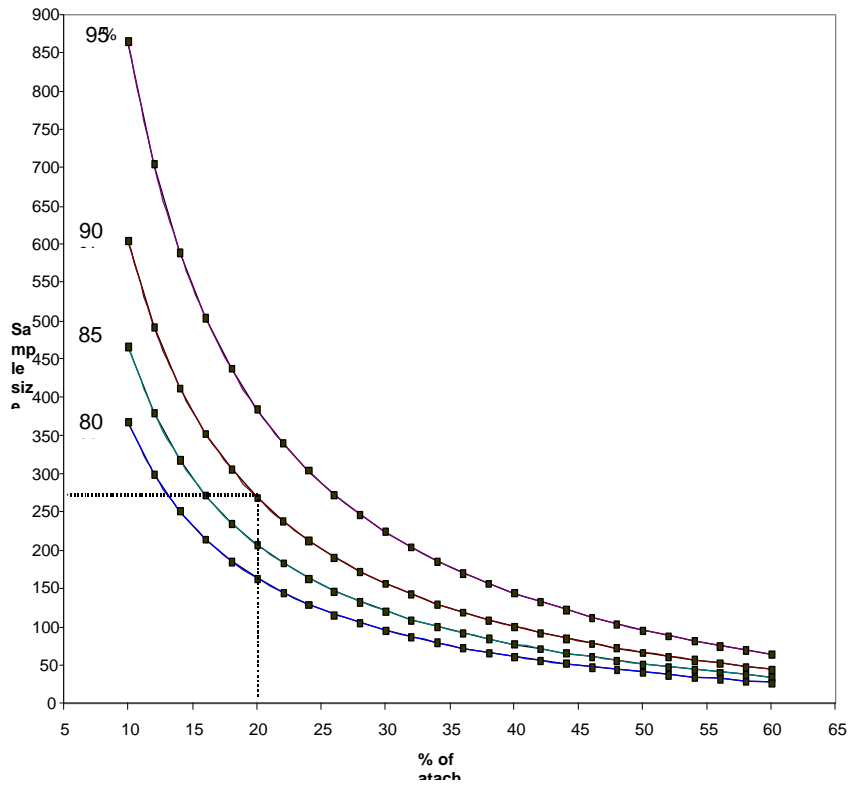


FIGURA 1- TAMANHOS DE AMOSTRAS OBTIDAS PELA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES VALORES DE Z E DE NÍVEIS DE ATAQUE DE *Sirex noctilio* EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*.

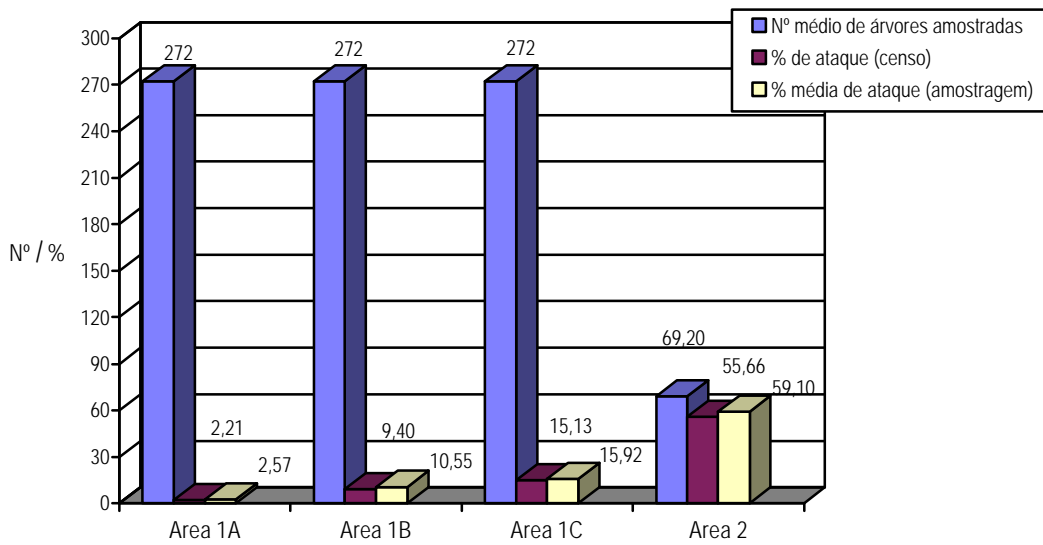


FIGURA 2 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS E PORCENTAGEM DE ATAQUE DOS CENSOS APLICADOS NAS ÁREAS 1 (EM TRES DIFERENTES PERÍODOS) E 2, E MÉDIA DE 10 AMOSTRAGENS SEQUENCIAIS REALIZADAS/ÁREA. LAGES, SC, BR, 1993 - 1996.

TABELA N.º 1

DEFINIÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA PARA AVALIAÇÃO DOS PERCENTUAIS DE ATAQUE DE **Sirex noctilio** EM POVOAMENTOS DE **Pinus taeda**, BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM SEQUENCIAL NA CONDIÇÃO DE $Z = 90\%$ E $E = 1/5$ DA MÉDIA.

NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS	NÚMERO DE ÁRVORES ATACADAS	
	ATACADAS DA AMOSTRA	MÍNIMO PARA INTERROMPER A AMOSTRAGEM
68		34
74		36
80		37
87		38
94		39
102		41
111		42
121		44
132		45
145		46
159		48
175		49
194		50
215		52
241		53
272		54
272		49
272		44
272		38
272		27
272		22
272		16
272		11
272		5
272		1

TABELA N.º 2

PORCENTAGEM DE ÁRVORES ATACADAS POR **Sirex noctilio**, OBTIDAS EM DOIS POVOAMENTOS DE **Pinus taeda**, PELA REALIZAÇÃO DE CENSOS E PELA APLICAÇÃO DA AMOSTRAGEM SEQUENCIAL. LAGES, SC, BR. PERÍODO: 1993/1996.

ÁREA	% DE ÁRVORES ATACADAS	% MÉDIA DE ÁRVORES ATACADAS - AMOSTRAGEM -
------	-----------------------	--

	- CENSO -	(MÉDIA DE 10 AMOSTRAGENS)
1 A CENSO - OUTUBRO/1993	2,21	2,57 ± 0,38
1 B CENSO - JUNHO/1995	9,40	10,55 ± 1,55
1 C CENSO - ABRIL/1996	15,13	15,92 ± 2,27
2 CENSO - JUNHO/1994	55,66	59,31 ± 7,12

4.1. Utilização da tabela de amostragem sequencial

- iniciar amostrando 68 árvores;
- o número de árvores atacadas da amostra deverá ser anotado na segunda coluna da tabela e comparado ao número de árvores atacadas apresentado na terceira coluna da tabela, o qual neste caso é 34;
- se o número de árvores atacadas da amostra for igual ou superior a 34, deve-se considerar a amostra completada;
- se este número for inferior, deve-se continuar o processo, amostrando-se mais 6 árvores, totalizando 74 árvores amostradas;
- se o número de árvores atacadas for 36 ou mais, interrompe-se a amostragem;
- se este número for inferior a 36, continua-se até que seja obtido o número de árvores atacadas requerido na terceira coluna da tabela;
- o percentual de árvores atacadas é calculado pela utilização da expressão abaixo:

$$\% \text{ de ataque} = 100 \left(\frac{\text{numero de arvores atacadas}}{\text{numero de arvores amostradas}} \right)$$

5. CONCLUSÕES

A amostragem sequencial, onde o tamanho da amostra é definido em função dos resultados que vão sendo obtidos apresentou-se como uma boa alternativa para avaliar a intensidade de ataque de **S. noctilio** em povoamentos de **P. taeda**, pela rapidez na sua aplicação, obtenção de resultados imediatos e redução dos custos do processo.

A utilização da amostragem sequencial permitiu uma redução no tamanho da amostra quando comparado ao procedimento recomendado na literatura, que utiliza um tamanho fixo de amostra. Assim, com a utilização do método da amostragem sequencial, não ocorrem desperdícios com tamanhos excessivos e nem falta de precisão com tamanhos reduzidos da amostra.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandes, E. J.** 1987. Sistemas de amostragem e decisão sequencial e não sequencial em inspeções de campos de produção de sementes de soja. Jaboticabal. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP.
- Fowler, G.W.** 1988. Errors in sampling plans based on Wald's sequential probability ratio test. Proceedings Eastern Mensurations Meeting.
- Haugen, D.A.; BEDDING, R.A.; UNDERDOWN, M.G.; NEUMANN, F.G.** 1990. National strategy for control of **Sirex noctilio** in Australia. Australian Forest Grower, v.13, n.2, 8p.
- Mendenhall, W.** 1985. Probabilidade e estatística. Rio de Janeiro: Campus, 489 p.
- Meyer, P.L.** 1983. Probabilidade: aplicações à estatística. Rio de Janeiro, Livros Técnicos Editora, 426 p.
- Morris, R.F.** 1954. A sequential sampling technique for spruce budworm egg surveys. Canadian Journal of Zoology, n. 32, p. 302 - 313.
- National Sirex Co-ordination Committee.** 1991. National sirex control strategy - Operations worksheets, Australia, 10p.
- Penteado, S.R.C.; Oliveira, E.B.; Iede, E.T.** 1993. Amostragem sequencial para determinação de níveis de ataque de **Sirex noctilio** (Hymenoptera: Siricidae) em povoamentos de **Pinus** spp. In: CONFERÊNCIA REGIONAL DA VESPA-DA-MADEIRA, **Sirex noctilio**, NA AMÉRICA DO SUL (1992: Florianópolis). Anais. Colombo: EMBRAPA/FAO/USDA/FUNCEMA, p.175 - 181.
- Wald, A.** 1943. Sequential analysis of statistical data: theory. Columbia Univ. Stat. Res. Gp. Rpt. 75 and Office Sci. Res. and Devlpmt. Rpt.
- Waters, W.E.** 1955. Sequential sampling in forest insect surveys. Forestry Science, n.1, p. 68 - 79.