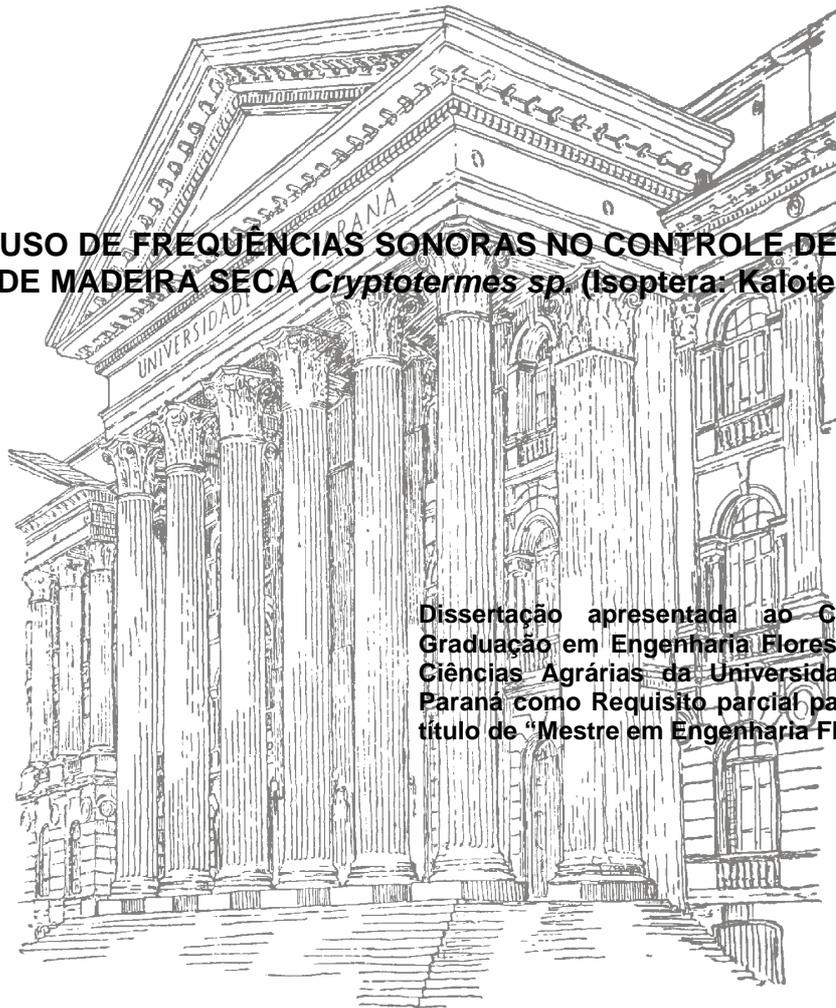


RODRIGO GIOVANELLA

**USO DE FREQUÊNCIAS SONORAS NO CONTROLE DE
CUPINS DE MADEIRA SECA *Cryptotermes* sp. (Isoptera: Kalotermitidae)**



Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como Requisito parcial para obtenção do título de "Mestre em Engenharia Florestal".

CURITIBA

2009

RODRIGO GIOVANELLA

**USO DE FREQUÊNCIAS SONORAS NO CONTROLE DE
CUPINS DE MADEIRA SECA *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como Requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Florestal”.

Orientador: Professor Dr. Márcio Pereira da Rocha

Co-orientador: Professor Dr. Ricardo Jorge Klitzke

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Carlos César Giovanella e Maria Cecília M. N. Giovanella, pelo carinho, amor e dedicação em todos esses anos e, principalmente, por suas presenças e fidelidades em mais um passo dado em minha vida.

Aos meus irmãos, Ricardo Giovanella e Rafael Giovanella, pela convivência terna de todos os dias e por suas amizades sinceras que se fortalecem a cada dia.

À minha noiva, Jamila Ithaia S. Wawzyniak, por ter-me apresentado a um novo universo e estar ao meu lado em todos os momentos de minha vida, fazendo, um a um, cada dia ser mais especial.

A minha vó Laura por todo o cuidado e carinho que teve para comigo desde épocas que não consigo recordar.

Ao meu tio, Marco Aurélio (in memoriam), por me ensinar a perceber os verdadeiros momentos felizes e a simplicidade que os tornam imortais em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha, meu orientador, que inúmeras vezes se fez presente em minha vida acadêmica, me ajudando e apoiando nos trabalhos desenvolvidos.

Ao Prof. Ricardo Jorge Klitzke por sua atenção e ajuda na coorientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Umberto Klock por seus conselhos em momentos difíceis.

Ao Prof. M.sc. Lincoln Lopes Teixeira que, através de seu exemplo ético e profissional e suas lições de vida, mostrou-me o caminho para que eu também possa vir a ser um bom profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos que auxiliou o progresso e desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Hudson e Flint, pelo apoio e amizade em todos os momentos e pelo convívio, que infelizmente às vezes não é tão freqüente.



“Apenas aquilo que cresce lentamente cria raízes profundas”

I CHING - O Livro das Mutações

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 OBRAS DE ARTE E PATRIMÔNIO HISTÓRICO - CONCEITOS GERAIS	20
2.2 TEORIA DA RESTAURAÇÃO	21
2.3 TRATAMENTOS PRESERVANTES CONVENCIONAIS E NÃO- CONVENCIONAIS.....	24
2.4 ONDAS SONORAS.....	26
2.4.1 Natureza do Som.....	26
2.4.2 Elementos da Onda Sonora.....	27
2.4.2.1 Freqüência.....	28
2.4.2.2 Forma da onda	29
2.4.2.3 Amplitude de uma onda	31
2.4.3 Mecanismo de Propagação de Uma Onda-Tratamento Quantitativo	32
2.4.3.1 Relação densidade - pressão	32
2.4.3.2 Relação deslocamento - densidade.....	34
2.4.3.2 Relação pressão - deslocamento.....	35
2.5 O SOM E A MADEIRA.....	37
2.6 INSETOS XILÓFAGOS	38
2.6.1 Ordem Isoptera.....	39
2.6.2 Sistema Nervoso	40
2.6.3 Órgãos Sensitivos.....	41
2.6.3.1 Sentidos mecânicos.....	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	44
3.2 FREQUÊNCIAS SONORAS	46
3.2.1 Composição e Formação dos Sons	46

3.2.2 Reprodução dos Sons	46
3.3 ESPÉCIE DE CUPIM UTILIZADA	47
3.4 ENSAIOS DE FREQUÊNCIAS SONORAS E DE COMPORTAMENTO DOS CUPINS	47
3.4.1 Teste de Caracterização do Comportamento “Natural” dos Cupins.....	48
3.4.2 Teste de sensibilidade às frequências	48
3.4.3 Teste dos “30-30”	53
3.4.4 Teste de Eficiência	53
3.4.4 Teste de Isolamento Acústico.....	55
3.5 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1TESTE DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO “NATURAL” DOS CUPINS	58
4.2 TESTE DE SENSIBILIDADE A FREQUÊNCIAS	61
4.2.1 Tratamentos de Baixa Sensibilidade.....	62
4.2.2 Tratamentos de Média Sensibilidade.....	64
4.2.3 Tratamentos de Alta Sensibilidade	65
4.3 TESTE DOS “30-30”	70
4.3.1 Primeira Etapa – Exposição a Uma Única Frequência	70
4.3.1.1 Tratamentos de baixa sensibilidade.....	71
4.3.1.2 Tratamentos de média sensibilidade	73
4.3.1.3 Tratamentos de alta sensibilidade	74
4.3.2 Segunda Etapa - Exposição a Todas as Frequências	76
4.4 TESTE DE EFICIÊNCIA	76
4.4.1 Tratamentos Classificados com Nível Quatro de Sensibilidade	77
4.4.2 Tratamentos Classificados com Nível Cinco de Sensibilidade.....	93
4.5 TESTE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO	106
5. CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
ANEXOS	113

LISTA DE TABELAS

QUADRO 1 –	Classificação das atividades e comportamento dos cupins <i>Cryptotermes sp.</i> (Isoptera: Kalotermitidae)	48
QUADRO 2 –	Características do som para os tratamentos construídos	49
QUADRO 3 –	Escala de Sensibilidade dos efeitos da pressão sonora sobre os insetos	51
TABELA 1 –	Distribuição do padrão de comportamento dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) observados ao longo de 24 horas para o teste de caracterização do comportamento “natural” dos cupins.....	58
TABELA 2 –	Classificação do número de tratamentos por nível de sensibilidade – Teste de sensibilidade para cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i>	61
TABELA 3 –	Freqüências de tratamentos que apresentaram baixo nível de sensibilidade no Teste de sensibilidade para cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i>	63
TABELA 4 –	Freqüência de tratamento que apresentou nível médio de sensibilidade para o Teste de sensibilidade para cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i>	64
TABELA 5 –	Freqüências sonoras de tratamentos que apresentaram alto nível de sensibilidade aos cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> para o teste de sensibilidade às freqüências.	66
TABELA 6 –	Classificação do número de tratamentos por nível de sensibilidade – Teste dos “30-30” para cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>).	71
TABELA 7 –	Freqüências de tratamento e níveis de sensibilidade para os tratamentos que apresentaram o mesmo efeito nos testes de sensibilidade e dos “30-30”	71
TABELA 8 –	Freqüência sonora de tratamento que apresentou baixo nível de sensibilidade aos cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> para o teste dos “30-30”.	72
TABELA 9 –	Freqüência de tratamento que apresentou nível médio de sensibilidade para o Teste dos “30-30” para cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i>	73

TABELA 10 –	Freqüência de tratamento que apresentou alto nível de sensibilidade para o Teste dos “30-30” para cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i>	74
TABELA 11 –	Freqüências Classificação do número de tratamentos por nível de sensibilidade – Teste de eficiência para os insetos do gênero <i>Cryptotermes sp.</i>	77
TABELA 12 –	Características das freqüências sonoras que apresentaram nível quatro de sensibilidade para o Teste de eficiência	77
TABELA 13 –	Classificação do efeito causado pelo tratamento 30 sobre cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> segundo os diferentes tipos de ambiente.....	82
TABELA 14 –	Classificação do efeito causado pelo tratamento 31 sobre os insetos os insetos do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> segundo os diferentes tipos de ambiente.....	87
TABELA 15 –	Classificação do efeito causado pelo tratamento 32 sobre cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> segundo os diferentes tipos de ambiente.....	92
TABELA 16 –	Freqüências de tratamento com níveis de sensibilidade cinco para o Teste de eficiência.....	93
TABELA 17 –	Classificação do efeito causado pelo tratamento 33 sobre os insetos os insetos do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> segundo os diferentes tipos de ambiente.....	96
TABELA 18 –	Classificação do efeito causado pelo tratamento 34 sobre os cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> segundo os diferentes tipos de ambiente.....	101
TABELA 19 –	Classificação do efeito causado pelo tratamento 35 sobre os insetos os insetos do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> segundo os diferentes tipos de ambiente.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mecanismo dinâmico de propagação do som. Fonte: Nussenzveig, 2002	26
Figura 2 –	O som puro de uma onda senoidal. Fonte: Costa, 2003.....	29
Figura 3 –	O som composto. Fonte: Costa, 2003	30
Figura 4 –	Amplitude do som. Fonte: Costa, 2003.....	31
Figura 5 –	Variação de volume em um tubo cilíndrico. Fonte: NUSSENZVEIG, 2002.....	34
Figura 6 –	Vista ventral do sistema nervoso central de um inseto generalizado. Fonte: RUPPERT et al., 2005, pg 618	41
Figura 7 –	Detalhe: a- sensila de inseto; b- sensila cordotonal; c- sensila campaniforme. Fonte: BORROR et al., 1989, pg 52.....	42
Figura 8 –	Foto ilustrativa do experimento dentro do estúdio	44
Figura 9 –	Foto ilustrativa da sala que simulou um ateliê/laboratório de conservação e restauro (particular)	45
Figura 10 –	Salas com fenômeno de reverberação; à esquerda o ambiente de reverberação I, com 20 m ² e à direita o ambiente de reverberação II, com 45 m ²	45
Figura 11 –	Caixa acústica utilizada na reprodução das freqüências dos sons	47
Figura 12 –	Recipiente usado para os testes montado com hastes de madeira de 15 cm de comprimento e faces de tecido tule.....	50
Figura 13 –	Montagem do experimento de sensibilidade às freqüências.....	50
Figura 14 –	Montagem completa do experimento de sensibilidade às freqüências sonoras dentro do estúdio.....	52
Figura 15 –	Peças de madeira com perfurações para colocação de cupins adultos em seu interior	55
Figura 16 –	Caixa anti-ruído utilizada	56
Figura 17 –	Atividade de repouso dos insetos do gênero <i>Cryptotermes sp</i> em função do tempo.....	59
Figura 18 –	Atividade de cupins do gênero <i>Cryptotermes</i> em função do tempo.	59
Figura 19 –	Distribuição de freqüência da caracterização do comportamento natural dos cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> em função do número de observações ao longo de 24 horas.....	60

Figura 20 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 3 (400 Hz e amplitude 50).....	63
Figura 21 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 4 (500 Hz e amplitude 50).....	64
Figura 22 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 1 (200 Hz e amplitude 50).....	65
Figura 23 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 1 (200 Hz e amplitude 50).....	67
Figura 24 –	À esquerda - cupim posicionado embaixo do papel umedecido, deixando o papel entre si e a fonte sonora; À direita – foto tirada com um aumento de três vezes.....	68
Figura 25 –	Cupins expostos ao tratamento 2, após 1 hora e 30 minutos de observação.....	69
Figura 26 –	Curva do nível de sensibilidade ao longo do tempo, por tratamento, no teste dos “30-30” para os cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>).....	72
Figura 27 –	Os cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) perto da face do recipiente mais próxima da fonte sonora no início do teste de eficiência do tratamento 30 (frequências 300-700 Hz com quatro cristas)	78
Figura 28 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 30 (300/700 Hz com quatro cristas).....	79
Figura 29 –	Instante no qual os cupins começaram a apresentar desorientação no teste de eficiência na madeira para o tratamento 30, após nove minutos de exposição	80
Figura 30 –	Cupim totalmente imóvel dentro de uma das aberturas da madeira, após 20 minutos de exposição, para o tratamento 30.....	80
Figura 31 –	Movimentação dos insetos no teste de eficiência na madeira para o tratamento 30.....	81
Figura 32 –	Cupins do gênero <i>Cryptotermes sp.</i> , com as patas para cima no ambiente de reverberação II, para o tratamento 30. À direita foto tirada com aumento de 5 vezes.....	82
Figura 33 –	Atuação das áreas de pressão sobre as sensilas. As sensilas que estão sobre influencia das áreas de pressão mais densas (alta pressão) apresentam um deslocamento maior e as regiões de menor densidade (baixa pressão) permitem a volta ao repouso das sensilas	83

Figura 34 –	Movimentação dos insetos no teste de eficiência para o tratamento 31. Dentro do círculo se encontra o inseto virado com as patas para cima	85
Figura 35 –	Cupim caído no chão no teste de eficiência para o tratamento 31. À direita foto tirada com ampliação de 6 vezes	85
Figura 36 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 31 (300/700 Hz com dez cristas)	86
Figura 37 –	Movimentação dos insetos no teste de eficiência na madeira para o tratamento 31	88
Figura 38 –	Movimentação dos cupins no teste de eficiência para o tratamento 32. À direita foto tirada com aumento de 5 vezes	90
Figura 39 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 32 (300/500/700 Hz com 10 cristas)	90
Figura 40 –	Fase de observação dos cupins para o teste de eficiência do tratamento 32	91
Figura 41 –	Deslocamento dos cupins para fora dos orifícios da madeira, para o tratamento 32	91
Figura 42 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 33 (300/700/500 Hz com cinco segundos).....	94
Figura 43 –	Fase de observação dos insetos no teste de eficiência, após duas horas e trinta minutos, para o tratamento 33. A esquerda têm-se os insetos sob efeito de letargia e a direita o inseto morto	94
Figura 44 –	Cupins no interior da abertura na madeira no teste de eficiência na madeira para o tratamento 33.....	95
Figura 45 –	Cupim virado com as patas para cima no teste de eficiência para o tratamento 33 no ambiente de reverberação	97
Figura 46 –	Cupim saindo do recipiente de teste, no teste de eficiência para o tratamento 34	98
Figura 47 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 34 (300/300 Hz com amplitude de 128-50)	98
Figura 48 –	Cupins no interior da abertura na madeira no teste de eficiência na madeira para o tratamento 34.....	100
Figura 49 –	Movimentação dos cupins no teste de eficiência para o tratamento 34, no ambiente de reverberação II	97

Figura 50 –	Atividade dos cupins (<i>Cryptotermes sp.</i>) em função do tempo para o tratamento 35 (700/700 Hz com amplitude de 128-50).....	99
Figura 51 –	Cupins no interior da abertura na madeira no teste de eficiência na madeira para o tratamento 35.....	99
Figura 52 –	Fase de observação dos insetos submetidos ao teste de eficiência na madeira para o tratamento 35.....	100
Figura 53 –	Movimentação dos cupins no teste de isolamento após três horas de isolamento	103
Figura 54 –	Movimentação dos cupins no teste de isolamento após 24 horas de isolamento	103

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a eficiência do uso de freqüências sonoras no controle de cupins da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae) em peças de madeira visando uso em obras de arte e patrimônios de madeira. Para isso foram desenvolvidas e analisadas diversas freqüências sonoras, com amplitudes e tempo de exposições diferentes. Estas análises foram desenvolvidas a partir de quatro ensaios diferentes com o intuito de determinar se as freqüências sonoras eram capazes de afetar os cupins e de que forma isto ocorreu. Os testes partiram de características mais gerais das propriedades do som e, a partir dos resultados obtidos em cada experimento, foi-se diminuindo as faixas de freqüências utilizadas para a construção dos sons com melhores resultados. A partir destes, verificou-se que algumas das freqüências sonoras testadas, dentro do limite audível do homem, foram capazes de influenciar o comportamento dos cupins de maneira a levá-los a estados de letargia ou agitação, havendo um aumento de agressividade entre indivíduos (fazendo-os se atacarem) ou causando-lhes danos permanentes. Percebeu-se também que as freqüências sonoras, independente do tipo de alteração comportamental, foram capazes de causar distúrbios nas funções motoras dos cupins. Como resultados disto, esses insetos apresentaram fortes sinais de desorientação, desequilíbrio, atordoamento e, por vezes, paralisia. Entretanto, quando o efeito estava associado à agitação as freqüências sonoras foram capazes de desencadear os fenômenos de taxia, positiva e/ou negativa, de forma moderada a intensa, variando de acordo com o tratamento. Ressalta-se que alguns dos tratamentos realizados, constituindo-se de freqüências puras ou de arranjos, foram capazes de matar alguns cupins, sendo indiferente o ambiente no qual se encontravam. O isolamento acústico dos cupins os levou a um estado permanente de letargia associado a problemas nas atividades motoras, sendo que, quanto maior o período de tempo do isolamento, mais forte foram os efeitos observados, chegando à morte de alguns em um período relativamente curto de tempo.

Palavras chave: freqüência sonora, *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae), distúrbios motores.

ABSTRACT

This work had as objective to study the efficiency of the use of sonorous frequencies in the control of insects *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae) in samples of wood for posterior use in work of art and patrimonies. Were developed and tested several types of sounds with frequencies, amplitudes and time of different expositions. These analyses had been developed from four different assays with intention to determine if the sonorous frequencies were capable to affect the insects and of that it forms this occurred. The tests had started with more general characteristics of the properties of the sound and, from the results in each experiment, have been diminishing the bands of frequencies used for the construction of the resulted sounds with better. From these, it was verified that some of the sonorous frequencies tested, inside of the audible limit of the man, were able to influence the behavior of the insects so as to lead them to states of agitation or lethargy, with an increase of aggressiveness between individuals or causing them harm permanent. It was noticed that the sonorous frequencies, not importing the type of change in the behavior, were able to cause disturbances in motor function of the insects tested. As results of this, the insects had presented forts signals of disorientation, disequilibrium, stunning and, for times, paralysis. However, when the effect was associated with the agitation, the sonorous frequencies had been capable to unchain the phenomena of taxis, positive and/or negative, of moderate form the intense one (varying in accordance with the treatment). Some of the carried through treatments, consisting of frequencies pure or arrangements, had been capable to kill the insects of the tested genus, not importing the environment that were. The acoustic isolation of the insects took them to a permanent state of lethargy associated with the problems in the activities motor, being that, how much bigger the period of time of the isolation, the effects were stronger, arriving at the death of the insects in a relatively short period of time.

Keywords: sonorous frequencies, *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae), disturbances in motor function

1. INTRODUÇÃO

Graças à natureza inventiva do homem, no decorrer de sua história, foram criados e desenvolvidos vários objetos com o intuito de facilitar e confortar a sua vida (MENDES *et al.*, 2001). A história é transmitida e visualizada através das heranças deixadas pelos antepassados, por isso sofre a ação do tempo ocasionando uma deterioração natural com o passar do mesmo. Hoje, há uma consciência de recuperar e preservar o patrimônio histórico e artístico em todas as suas formas de manifestações produzidas tanto em tempos pré-históricos, como em atuais. Os espelhos dessa preocupação são os museus, que tem a missão de cuidar desse patrimônio, garantindo uma herança cultural às próximas gerações.

Quando se pensa em ciência da conservação, deve-se compreender que esta abrange diversas áreas do conhecimento, desde as exatas até as humanas. Nas áreas exatas encontram-se o alicerce para o entendimento dos princípios da deterioração das estruturas materiais de obras e de documentos (WILKS, 1996). Nas áreas humanas se têm a base e os princípios para tomadas de decisões, levando em consideração todos os aspectos que compõem uma obra de arte, sua artisticidade, historicidade, estrutura e aspecto (BRANDI, 2004).

Segundo Lepage *et al.* (1986) a madeira é um material natural que vem sendo utilizado desde o início da civilização. De acordo com estes autores existem muitas especulações sobre os primeiros usos da madeira pelo homem. De fato o que se pode afirmar é que a madeira possui relativamente uma baixa durabilidade e, por isso, poucos artefatos deste material foram encontrados em pesquisas arqueológicas, o que reforça a importância em preservar as peças encontradas e justifica a preocupação em conhecer o material e os tratamentos que melhor possam atender as necessidades da conservação e restauro das mesmas.

Os problemas mais freqüentemente encontrados em obras de arte de madeira estão relacionados a três fatores fundamentais; Umidade, Temperatura e Agentes Xilófagos (GIOVANELLA, 2005). Os fatores umidade e temperatura influenciam as peças de madeira de duas formas. A primeira delas são fenômenos isolados que são característicos de cada fator, como exemplo pode-se citar o aumento da acidez da madeira proveniente da alta umidade e a liberação de seus voláteis em função de uma temperatura moderada (BROWN *et al.*, 1952). A segunda forma é a união

destes dois fatores, umidade e temperatura, que através das leis da psicrometria afetam a madeira de diversas maneiras, sendo a mais significativa por meio da anisotropia (GALVÃO e JANKOWSKY, 1988). Pelo fato da madeira ser anisotrópica as variações de umidade e temperatura facilmente podem fazer aparecer trincas e rachaduras nas peças de madeira, sem mencionar a interação que existe entre madeira e tinta, por exemplo, fazendo surgir rachaduras na camada pictórica¹ da obra. Entretanto estes fatores e suas respectivas conseqüências são facilmente controlados e remediados contanto que se tenha um mínimo de cuidado no armazenamento das obras e na manutenção das reservas técnicas (FRONER, 2005). Já, considerando o terceiro, fator têm-se um problema maior, pois a própria intervenção de restauro para eliminação dos agentes xilófagos, é uma ação que pode danificar o estado da obra e ainda contaminar os técnico-restauradores e o meio onde se encontra. A deterioração por agentes biológicos normalmente está associada à deterioração do próprio material lenhoso que constitui a peça, por isso é um fator que não pode ser ignorado e deve ser tratado rapidamente, para que não se perca permanentemente a obra de arte.

Atualmente os técnico-restauradores utilizam técnicas de tratamento tradicionais e produtos tóxicos, descritos por alguns autores como Lepage *et al.* (1986), Rocha (2001) e Moreschi (s/d – a; b), que põem em risco eles mesmos e as pessoas que virão a ter contato com a obra de arte no futuro. Estes tratamentos e produtos não garantem que a peça de madeira tenha sido completamente desinfestada e nem que os agentes não voltarão, além do fato de que estes tratamentos, como exemplo, um processo de fumigação ou expurgo, podem acelerar algum processo de deterioração como a despigmentação das tintas. O fato mais relevante que deve ser entendido é que estes tratamentos convencionais não obedecem ao segundo princípio da restauração por serem métodos não inertes à matéria da obra de arte (BRANDI, 2004). Por este motivo levantou-se a hipótese de se utilizar freqüências sonoras no controle dos agentes xilófagos. Este método é inerte à matéria da obra de arte e não gera passivos ambientais que possam vir a fazer mal a quem entrar em contato com a obra de arte. Mesmo os técnico-restauradores não são submetidos a riscos, pois neste tratamento não há contato

¹ Essas rachaduras são conhecidas como craquele, e a partir dos craqueles pode surgir um fenômeno de desprendimento da camada pictórica.

com produtos tóxicos e simples equipamentos de proteção, como protetores auriculares ou tampões, são o suficiente para garantir a salubridade do profissional envolvido no tratamento.

Freqüências sonoras são ondas mecânicas longitudinais geradas a partir de um distúrbio em um meio. Suas características são descritas pela parte da física referente a movimentos ondulatórios e acústica. A percepção, ou sensação, de som é gerada a partir de vibrações das partículas do ar no órgão responsável por detectar essas variações (SEARS *et al.*, 1989), o tímpano no caso dos humanos e os órgãos sensoriais, no caso dos insetos, podendo ser as antenas, pernas, abdome ou outro, dependendo do tipo de inseto. Quando essa vibração chega ao órgão sensível, a recepção é feita de modo a percebê-las com parâmetros de freqüência e amplitude bem definidos. Esta percepção pode, também, ser descrita em função da variação de pressão do ar num mesmo ponto. Isso ocorre num ciclo onde a pressão do ar eleva-se acima da pressão atmosférica e, em seguida, diminui. Este ciclo pode ser caracterizado como um movimento harmônico simples de mesma freqüência que as partículas do ar (SEARS *et al.*, 1989). Ou seja, essas vibrações do ar e uma constante variação de pressão, podem criar um ambiente de desconforto alterando o comportamento natural dos que estão submetidos ao som.

Quando se considera a deterioração de obras de arte ou monumentos por organismos vivos, como no caso dos agentes xilófagos, deve-se entender que o real objetivo da intervenção é cessar o ataque, fazendo assim, com que a deterioração do material pare naquele dado momento em que foi realizada. Ou seja, a ação de intervir é aceita para interromper o processo da perda irreversível do material constituinte da obra. Deste modo, para os agentes xilófagos mais freqüentes em obras de arte, os insetos, existem quatro pilares fundamentais onde os esforços devem ser concentrados, pois se for conseguido afetar um destes o ataque à peça será interrompido. Estes pilares fundamentais estão associados a funções vitais dos insetos, sendo elas o sistema sangüíneo-vascular, trato digestivo, cérebro e órgão sensorial (GIOVANELLA, 2006). A intervenção causada nestes elementos vitais garante a inibição do ataque ativo, mesmo que não causando a morte imediata dos agentes xilófagos.

O método proposto, de freqüências sonoras, atua diretamente no órgão sensorial afetando o comportamento “normal” dos referidos insetos, portanto não

necessariamente levando-os à morte. Outro fator relevante é que, devido a sua natureza, o som pode ser utilizado em tratamentos curativos e preventivos, sendo este último a partir do uso contínuo do som num dado ambiente, como salas de um museu e reservas técnicas, por exemplo. Isto é possível por que o som, nos níveis considerados, não causa danos físicos às estruturas, sejam elas madeira ou qualquer outro tipo de material estando ou não agregado à obra de arte.

Desta forma, este trabalho teve o objetivo de identificar frequências sonoras capazes de interromper o ataque de cupins da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae) em obras de arte e patrimônio em madeira, com base na alteração do seu comportamento natural quando expostos a um ambiente sujeito às variações impostas pelas ondas sonoras.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a eficiência do uso de frequências sonoras no controle de cupins da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae) em peças de madeira visando seu uso em obras de arte e patrimônios de madeira.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar a eficiência do uso de frequências sonoras no controle de cupins da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae) em peças de madeira.

2. Determinar as formas de influência das frequências sonoras em cupins da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae).

3. Avaliar os efeitos na madeira a partir do uso de frequências sonoras no controle do ataque de cupins da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae).

4. Determinar as propriedades das ondas sonoras para uma eficiente intervenção não destrutiva no controle biológico em peças de madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Imbuídos da mensagem do passado, os monumentos históricos de gerações passadas permanecem no presente como testemunhas vivas das suas tradições antigas. As pessoas estão tornando-se mais conscientes sobre os valores humanos e têm os monumentos antigos como um patrimônio de todos. A responsabilidade de salvaguardá-los para as próximas gerações é reconhecida como sendo de todos. É dever da humanidade cuidar deles com a inteira riqueza de sua autenticidade (BRAGA, 2003, pg. 7 *traduzido de JOKILEHTO*)².

2.1 OBRAS DE ARTE E PATRIMÔNIO HISTÓRICO - CONCEITOS GERAIS

Muitos objetos foram criados pelos homens, para atender diversos fins, ao longo de sua história. Por meio da arqueologia os estudos destes objetos tornaram possível recuperar informações sobre estilo de vida, religião, hábitos e práticas de muitas civilizações antigas. Dentro deste contexto, todos os objetos remanescentes são importantes e devem ser preservados. Entretanto, quando se fala em preservação de obras de arte entra uma questão delicada em debate; o próprio conceito de *obra de arte*.

Muitos autores tentaram definir um conceito para o que é uma obra de arte, principalmente em trabalhos relacionados à estética. Entretanto o único consenso é que definir este conceito é algo difícil (WAWZYNIAK, 2008). Segundo Coli (1995), o que se têm atualmente é um senso comum do que é arte, pois de maneira geral todos os indivíduos podem falar sobre exemplos de obras de arte, mesmo sem um conceito formal. Isso demonstra que existem padrões culturais que o definem de forma “inconsciente”.

Deste modo a arte pode ser caracterizada pelas ações e manifestações da atividade humana frente a reações de sentimento do ser humano (BOSI, 1986; COLI, 1995). O que significa dizer, nesta visão, que a obra de arte é um veículo que desperta sentimentos a quem possa ter contato com a mesma, mesmo que em tempos cronológicos distintos. Sendo este último uma característica agregada à

² Palavras iniciais do Encontro Internacional para Conservação e Restauração de Monumentos e Sítios, realizado em Veneza, 1964.

obra, que se reflete como um retrato estático do tempo cronológico no qual a obra foi concebida; retrato histórico.

2.2 TEORIA DA RESTAURAÇÃO

O primeiro corolário da restauração diz que "qualquer comportamento em relação à obra de arte, nisso compreendendo a intervenção de restauro, depende de que ocorra o reconhecimento ou não da obra de arte como obra de arte" (BRANDI, 2004, p. 28). Entretanto, o mesmo autor coloca, que para a obra de arte ser reconhecida como tal, ela precisa ter uma potencialidade artística que compreende duas instâncias: a estética, caracterizada pela artisticidade e a histórica que lhe remete ao fato de ser um produto humano realizado em certo tempo e lugar e que em certo tempo e lugar se encontra. Isso mostra uma duplicidade da obra de arte, ou seja, ela deixou de ser apenas matéria e adquiriu uma característica bipolar na qual se apresenta à consciência. Em outras palavras a obra de arte utiliza-se de um meio, matéria-imagem, para se mostrar.

Tendo estes conceitos define-se restauração, a partir de Brandi, como "... o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dúplice polaridade estética e histórica, com vistas à sua transmissão para o futuro" (BRANDI, 2004, p. 30). Ou seja, quando a restauração torna-se uma ação, esta ação não pode apagar nenhum traço da passagem da obra de arte pelo tempo e nem criar um falso artístico ou um falso histórico, e isto é o que nos diz o segundo corolário da restauração. Neste ponto têm-se a primeira conclusão importante, que a intervenção na matéria não pode alterar a historicidade e a artisticidade da obra, pois se isto ocorrer a obra deixa de ser obra e passará a ser um objeto feito pelo homem, para o homem e de uso comum.

Estes conceitos geram uma discussão sobre a materialidade da obra de arte, no que se refere à matéria pura e simples e o que é parte consistente da obra nos aspectos estéticos e históricos. Para uma melhor compreensão faz-se significativo a introdução do primeiro axioma da restauração, que diz; "restaura-se somente a matéria da obra de arte" (BRANDI, 2004, p. 31). Mas para que se possa entender este axioma deve-se discutir o que vem a ser a matéria da obra de arte, tomando como ponto de partida à definição de restauro apresentada por Brandi, descrita

anteriormente. Para a restauração, a matéria é apenas um meio e não um fim, isso mostra que a obra de arte não está limitada às dimensões físicas do material no qual utiliza para se revelar. Ou seja, têm-se mais uma bipolaridade, entretanto, agora se referindo à matéria.

Esta questão bipolar mostra que a matéria é matéria física onde funciona como suporte e veículo da obra de arte, mas também possui características diferenciadas e apenas perceptíveis através da consciência. Dentro deste contexto, inicialmente, considera-se a matéria sob o aspecto epifenomenológico e assim podem-se definir as duas polaridades da matéria como aspecto e estrutura. A linha que separa estas características da matéria é muito delicada e as vezes confusa. O aspecto seria uma característica "única" concedida à obra de arte pelo material utilizado em sua feitura. Já a estrutura seria o material e a forma em que este último foi empregado no fazer a obra. E é por essa divisão frágil, e importante, entre aspecto e estrutura que se deve encarar a obra de arte como única, dada toda a complexidade de sua unidade potencial (BRANDI, 2004).

Este conceito de *unidade*, para a restauração, não está associado ao significado de um único *total*, mas sim a uma unidade que se refere ao *inteiro*. Fica fácil entender esta idéia quando se pensa em uma escultura policromada de madeira. Estas esculturas, muito comum no Brasil colonial, por exemplo, são formadas por vários blocos, onde a soma de várias partes forma uma única escultura. Se considerarmos então a obra de arte como sendo composta de partes, estas partes podem possuir duas características. A primeira aparece quando as partes, individualmente, não possuem autonomia, mas no conjunto adquire um valor de ritmo dando "vida" a obra. A segunda característica é quando a obra de arte absorve as partes que a compõem e estas partes perdem o seu valor individual para fazer sobressair às características da própria obra de arte como única e inteira (BRANDI, 2004). Referindo-se a esta questão o mesmo autor coloca que essa especial atração que a obra de arte exerce sobre suas partes, quando se apresenta composta de partes, já é uma negação implícita das partes como constitutivas da obra de arte. Ou seja, quando se fala em unidade da obra de arte subentende-se o único inteiro, pois refere-se a todo potencial apresentado pela obra, seja estético, histórico, estrutura ou aspecto. Outro ponto importante que deve ser esclarecido é que, a unidade da obra de arte deve ter seu conceito afastado da idéia de unidade

orgânico-funcional. Isso quer dizer que ao se ver uma escultura representando o colo e a face de um indivíduo, não se deve remeter esta imagem a um todo, cabeça e corpo, do qual a escultura possa ter sido "arrancada" em uma mutilação. "A imagem é verdadeiramente e somente aquilo que aparece..." (BRANDI, 2004, p. 44). Com estas idéias e definições colocadas, pode-se agora apresentar mais dois corolários, que ajudarão a definir o como e porque das intervenções de restauro.

Para o primeiro, deduzimos que a obra de arte, não constando de partes, ainda que fisicamente fracionada, deverá continuar a subsistir *potencialmente* como um todo em cada um de seus fragmentos e essa *potencialidade* será exigível em uma proposição conexa de forma direta aos traços formais remanescentes, em cada fragmento, a desagregação da matéria. Para o segundo, infere-se que se a 'forma' de toda obra de arte singular é indivisível, e em casos em que, na sua matéria, a obra de arte estiver dividida, será necessário buscar desenvolver a unidade potencial originária que cada um dos fragmentos contém, proporcionalmente à permanência formal ainda remanescente neles (BRANDI, 2004).

A partir disso, e ainda segundo o mesmo autor, pode-se afirmar que a restauração vem atuar num momento, ou instante, em que a obra de arte perde uma de suas características, desta forma perdendo sua potencialidade artística e tornando-se um objeto comum. Concordando com essa idéia, para garantir a continuidade da obra de arte como obra de arte, está o segundo princípio da restauração, a restauração deve visar ao restabelecimento da unidade potencial da obra de arte, desde que isso seja possível sem cometer um falso artístico ou um falso histórico, e sem cancelar nenhum traço da passagem da obra de arte no tempo. Esta mesma mensagem é apresentada por Mayer (1999) de maneira simplificada e claramente atentando a questões pertinentes que muito foram discutidas na história da ciência da restauração.

"Além de interromper a deterioração e impedir o progresso da desintegração, o propósito de uma restauração honesta deve ser o de dar uma aparência aceitavelmente boa de maneira que a obra possa ser vista ou estudada como um todo, sem interferência dos defeitos; e não reproduzir o que o restaurador acha ter sido a aparência original da parte danificada, ou tentar uma falsificação ou imitação do original" (MAYER, 1999, p. 548).

Diante destas teorias, os métodos de preservação convencionais apresentam-se como uma alternativa de tratamento não eficiente para controle de infestações. Isto graças aos riscos potenciais de alterações na historicidade e na artisticidade da obra de arte tratada por estes métodos. Deste modo, o desenvolvimento de métodos alternativos, ou não convencionais, que sejam inertes a matéria são de grande importância para a área da conservação e restauro.

2.3 TRATAMENTOS PRESERVANTES CONVENCIONAIS E NÃO-CONVENCIONAIS

Desde os primórdios da utilização da madeira, em seus diversos fins, foi percebido que ela sofre deteriorações, oriundas de várias fontes, que impossibilitam a continuidade de seu uso em serviço. Tais fontes de deterioração são, a princípio, de duas naturezas distintas, sendo elas físico-química (abióticas) e biológica (biótica) (ROCHA, 2001). A partir desta observação iniciaram-se esforços, que perduram até os dias de hoje, para preservar suas condições pelo maior tempo possível.

Atualmente existem dois grandes grupos de tratamentos, os preventivos que têm por objetivo evitar o ataque à madeira por ações de agentes biodeterioradores e os curativos que têm por objetivo eliminar o ataque ativo existente em uma peça de madeira. Ou seja, no primeiro, o tratamento ocorre quando a peça ainda está sã ou quando o ataque já foi controlado. Este tratamento pode ser feito por diversas metodologias, cada qual com a aceitação de determinados produtos químicos. Já no segundo, o tratamento ocorre, quando a peça ainda está sob ataque dos respectivos xilófagos, por intermédio de utilização de produtos químicos e métodos de aplicação mais limitados que no caso anterior. Estes tratamentos mencionados são classificados como tratamentos convencionais, divididos em métodos preventivos, convencionais e não convencionais, e métodos curativos (ROCHA, 2001; LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986).

Os métodos de preservação utilizados fora dos ambientes industriais, considerando também os procedimentos de conservação e restauro de obras de arte, são os métodos convencionais sem pressão, também conhecidos como caseiros. Estes consistem na aplicação de um produto preservante por meio de técnicas como o pincelamento, injeções, pulverização, imersão simples, aplicação de

pastas, entre outros (ROCHA, 2001; MORESCHI, s/d - b), técnicas estas que classificam e caracterizam os métodos caseiros.

O fator comum entre todos estes tratamentos, incluindo os métodos com pressão, é que para o tratamento ter efeito há a necessidade de contato entre o produto preservante e a madeira, incluindo os materiais agregados a ela. Entretanto, isto pode causar alterações na madeira, como, por exemplo, a coloração esverdeada em peças tratadas com arseniato de cobre cromatado (CCA). Devido a isto, alguns pesquisadores têm buscado métodos alternativos para o tratamento de madeira, principalmente para peças que por algum motivo não podem ser tratadas com métodos convencionais. Estes métodos alternativos são divididos, a princípio, em dois grandes grupos. O primeiro utiliza as frequências sonoras (infra-som, ultra-som e som) para controlar o ataque de insetos. Esta metodologia vem sendo estudada não apenas para tratamento em madeira, mas também para controle de pragas em uso doméstico (repelente de pernilongos e outros tipos de insetos). O segundo grupo utiliza radiação eletromagnética para eliminação dos xilófagos, sendo que alguns trabalhos já foram publicados tratando do uso de radiação gama em obras de arte (1º Simpósio Latino Americano sobre Métodos Físicos e Químicos em Arqueologia, Arte e Conservação de Patrimônio Cultural - LASMAC). O principal fator a se considerar nestes tipos de tratamentos é apenas o nível de energia utilizado, para que não haja danos estruturais a peça de madeira irradiada.

Dentre estes métodos alternativos, o de frequências sonoras apresenta-se como o de uso mais fácil e, principalmente, possível de se ter acesso à tecnologia. É um método que não traz riscos a saúde, como é o caso do uso de radiação, e pode ser utilizado tanto como tratamento preventivo, como curativo.

Para melhor compreender como as frequências sonoras podem influenciar o comportamento dos agentes xilófagos a ponto de inibir um ataque ativo, faz-se necessária uma breve explicação sobre a anatomia dos insetos e a teoria fundamental do som e acústica.

2.4 ONDAS SONORAS

2.4.1 Natureza do Som

O som é produzido pela vibração dos corpos elásticos que é transmitida através de um meio material (NUSSENZVEIG, 2002; COSTA, 2003). Este meio pode ser um sólido ou um fluido, atmosfera ou líquidos, sendo o mesmo imprescindível para a propagação do som. Sua natureza, de característica ondulatória, é evidenciada pelo fato do som se propagar em um meio material sem que haja transporte de matéria de um ponto a outro (NUSSENZVEIG, 2002).

As vibrações sonoras são transmitidas ao meio pelo corpo sonoro (fonte sonora), através da produção de compressões e distensões (rarefações) sucessivas que se propagam em todas as direções com velocidade uniforme, sofrendo variações de acordo com as propriedades elásticas do próprio meio ao longo de seus pontos (COSTA, 2003). A onda sonora, portanto, resulta da propagação das camadas de condensação e de rarefações alternadas (NUSSENZVEIG, 2002).

A onda sonora produzida pelas vibrações dos corpos elásticos, provoca uma alteração na densidade do ar na camada adjacente (condensação, rarefação), que causa uma mudança de pressão (compressão ou descompressão). Este fato, a variação de pressão, produz um deslocamento na camada de ar imediatamente próxima e dessa continuidade surge o mecanismo dinâmico da propagação da onda sonora (NUSSENZVEIG, 2002) (Figura 1).



Figura 1 - Mecanismo dinâmico de propagação do som.
Fonte: Nussenzveig, 2002

O som possui uma determinada energia, como todo movimento material, e esta é devolvida ao meio através de resistências opostas ao seu deslocamento que, segundo Costa (2003), são o atrito devido à viscosidade, inércia e obstáculos, entre outros. De acordo com o mesmo autor, a restituição da energia pode ser de duas maneiras, sendo a primeira a mais significativa para este estudo. Esta primeira forma de transferência de energia se dá através do encontro da onda sonora com um determinado obstáculo (corpo sólido ou outro meio elástico fluido de densidade diferente), onde a onda sonora cede parte da sua quantidade de movimento, de modo que uma dada quantidade de sua energia é passada ao obstáculo, o qual entra em vibração. A segunda maneira se dá por meio da transformação da energia cinética da onda sonora em calor, devido à viscosidade do próprio meio em que ela se propaga. Isto ocorre devido ao movimento molecular, que é uma forma mais complexa e intangível de movimento (COSTA, 2003). Deste modo, “a sensação sonora é ocasionada pela ação mecânica das vibrações elásticas do meio sobre o órgão auditivo” (COSTA, 2003, pg. 2).

2.4.2 Elementos da Onda Sonora

Além de ser uma onda mecânica longitudinal, o som possui algumas características e qualidades, que melhor definem e auxiliam a sua compreensão. Dentro destas características têm-se a frequência, a forma da onda e a amplitude, que possibilitam a percepção, num som, da altura, da intensidade e do timbre (COSTA, 2003).

A altura de um som corresponde à sensação que permite a distinção entre os sons mais graves e mais agudos (NUSSENZVEIG, 2002). Ela se relaciona com a seqüência das vibrações sonoras, ou seja, com a frequência do som (COSTA, 2003).

O timbre está diretamente relacionado com a composição harmônica da onda sonora, isto significa que o timbre está associado à forma da onda. Deste modo, é possível distinguir a diferença entre a mesma nota emitida por instrumentos diferentes ou mesmo pela voz humana (NUSSENZVEIG, 2002; COSTA, 2003). Assim, pode-se definir o timbre do som como sendo as diferentes proporções em que entram os tons harmônicos (NUSSENZVEIG, 2002).

A intensidade do som está ligada à amplitude e é definida, por Nussenzveig (2002), como sendo a energia média transmitida, através da seção, por unidade de tempo e de área. A relação intensidade-amplitude caracteriza a variação de pressão do meio em que se verifica a propagação da onda sonora (COSTA, 2003).

2.4.2.1 Freqüência

Segundo Silveira Bueno (2000), freqüência é definida como o número de vibrações, ondas ou ciclos de qualquer fenômeno periódico. A freqüência sonora, de acordo com Costa (2003), é o número de vibrações completas executadas pela onda sonora em um segundo.

A unidade física utilizada para medir a freqüência da onda sonora é o hertz (Hz), “que corresponde à freqüência de um som que executa uma vibração completa ou ciclo, por segundo, entendendo-se por ciclo ou onda completa a totalidade das variações de pressão que, iniciando no zero, apresentam todos os valores positivos e negativos possíveis crescentes e decrescentes, terminando novamente no zero” (COSTA, 2003, pg. 3).

O movimento vibratório das partículas do meio no qual a onda se propaga é igual ao da fonte sonora (COSTA, 2003). Esse movimento vibratório, freqüência da onda sonora, é percebido pelos seres vivos dentro de certos limites, que são impostos pelas características dos órgãos sensoriais responsáveis por captar as variações de pressão no meio.

O inverso da freqüência, denominado de tempo periódico ou período, representa o tempo necessário para que uma onda completa realize um ciclo de oscilação. De acordo com Costa (2003), o tempo periódico (T) é dado através da equação 1, onde f é a freqüência sonora:

$$T = \frac{1}{f} (\text{seg} / \text{ciclo}) \quad (\text{eq. 1})$$

Outra relação importante surge da interação entre a freqüência (f) e a velocidade de propagação do som (c), que varia de acordo com o meio. Esta relação

é denominada de comprimento da onda sonora (λ), e segundo Costa (2003) pode ser obtida através da equação 2:

$$\lambda = \frac{c}{f} (m/ciclo) \quad (\text{eq. 2})$$

Estas relações observadas são importantes para a identificação e caracterização das ondas sonoras capazes de inibir o ataque de cupins propostos neste estudo.

2.4.2.2 Forma da onda

A forma da onda sonora nada mais é do que uma curva periódica obtida a partir dos deslocamentos das partículas do meio, devido às oscilações sonoras, em função do tempo. Esta curva surge graficamente quando se relaciona estes deslocamentos de partículas a um sistema de coordenadas cartesianas (COSTA, 2003).

O movimento oscilatório mais simples possível está representado na Figura 2, e esta curva revela a forma da onda sonora produzida por um diapasão; uma senóide (COSTA, 2003).

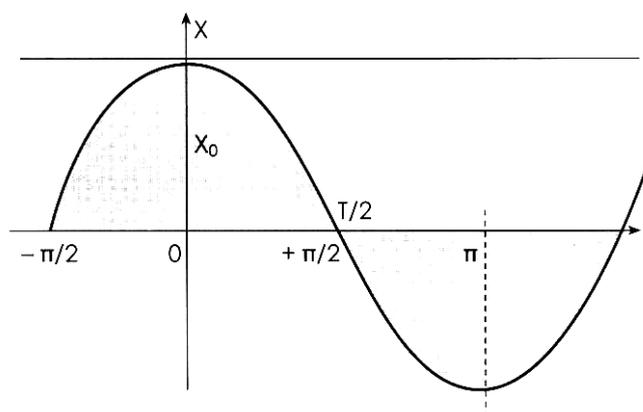


Figura 2 – O som puro de uma onda senoidal. Fonte: Costa, 2003

Por tanto, a onda sonora obedece algumas leis físicas que permitem associá-la a equações matemáticas e Sears *et al.* (1989) descrevem a função da onda sonora senoidal através da equação 3, onde X é a amplitude num ponto qualquer da onda, X_0 é a amplitude máxima da mesma;

$$X = X_0 \cos(Kx - \omega t) \quad (\text{eq. 3})$$

onde;

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{eq. 4})$$

e:

$$\omega = Kc \quad (\text{eq. 5})$$

Costa (2003) afirma que os sons comuns são normalmente compostos, isto sendo o resultado da superposição de sons simples, dos quais o que apresenta maior intensidade e cuja frequência caracteriza a altura do som resultante denomina-se de fundamental e os outros de menor intensidade, cujas frequências são múltiplas da do som fundamental recebem o nome de harmônicos (Figura 3).

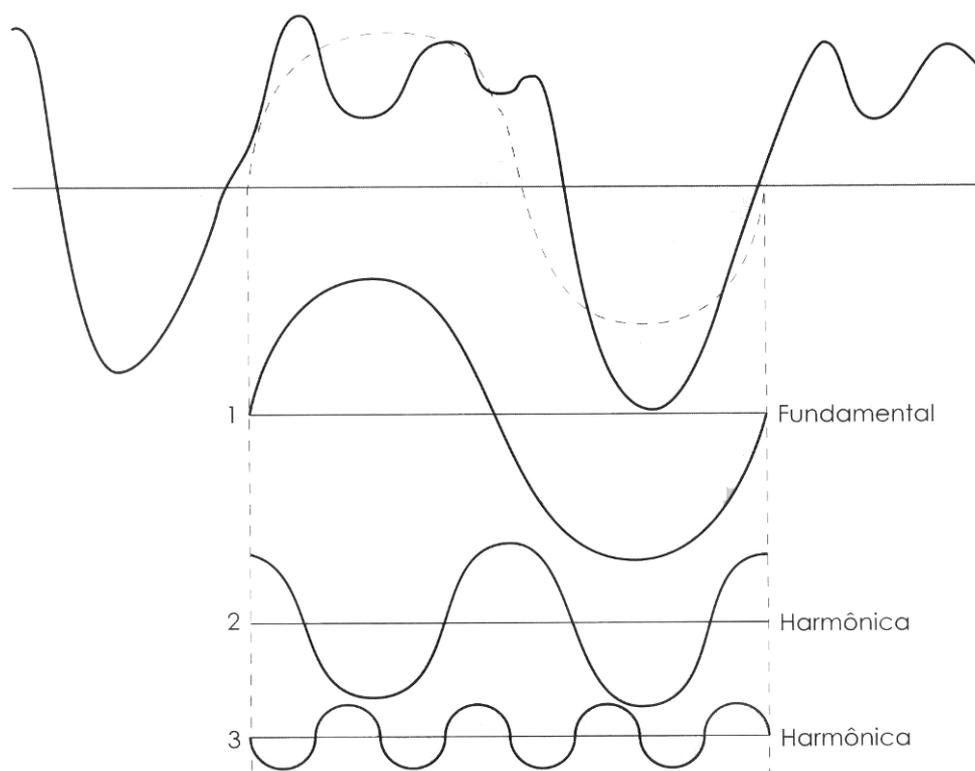


Figura 3 – O som composto. Fonte: Costa, 2003

A presença das vibrações harmônicas faz com que a forma do som deixe de ser senoidal e o procedimento que permite identificar todas as vibrações simples, dentro do som complexo, é o método de análise harmônica, baseada no teorema de Fourier que, segundo Costa (2003, pg. 7), assegura que “qualquer movimento periódico independentemente de sua forma, de sua natureza específica ou do modo

pelo qual teve origem, pode ser reproduzido exatamente, compondo-se certo número de movimentos simples, cujas relações de freqüência são números inteiros”.

A análise harmônica se baseia no fenômeno da ressonância, o qual diz que “quando um oscilador harmônico é solicitado por impulsos periódicos, a máxima amplitude atingida, compatível com a energia em jogo, se verifica quando a freqüência dos impulsos coincide com a freqüência do oscilador” (COSTA, 2003, pg. 7).

A partir desta análise harmônica pode-se estabelecer uma diferença entre as sensações agradáveis e menos agradáveis, classificando-as como sons e ruídos. O primeiro caracteriza-se por uma nota fundamental acompanhada de um número limitado de harmônicas, cuja identidade mais importante é de apresentarem uma intensidade pequena em relação à fundamental que é dominante. O segundo, os ruídos, causam uma sensação mais desagradável quanto maior for o número de notas que o compõem e mais alta for sua freqüência (COSTA, 2003).

2.4.2.3 Amplitude de uma onda

Costa (2003) define amplitude de uma onda sonora como sendo o maior ou menor deslocamento atingido pelas partículas do meio, devido às oscilações que a formaram.

Deste modo, a amplitude é dada pela equação 6:

$$X = X_0 \cos \alpha = X_0 \cos(\omega t - Kx) \quad (\text{eq. 6})$$

onde X é a amplitude num ponto qualquer da onda e X_0 é a amplitude máxima da mesma (Figura 4).

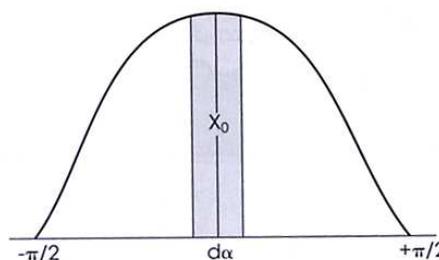


Figura 4 – Amplitude do som. Fonte: Costa, 2003

As funções harmônicas senoidais apresentam amplitudes com valores característicos (médio e eficaz), semelhante aos da corrente alternada (COSTA, 2003). Deste modo, seus valores podem ser obtidos através das equações 7 e 8:

$$X_{\text{médio}} = 0,637 X_0 \quad (\text{eq. 7})$$

$$X_{\text{eficaz}} = 0,707 X_0 \quad (\text{eq. 8})$$

A interação entre as qualidades citadas acima podem inibir o ataque dos cupins de duas maneiras. A primeira é por meio da relação harmônica e variação de pressão que, dependendo das combinações, geram um ambiente desconfortável o suficiente para repelir os insetos. A segunda ocorre graças à ação mecânica de vibração do meio, oriunda da vibração da fonte sonora, que através da ressonância causa danos físicos no tecido vivo dos cupins (alvo desta pesquisa).

Para entender como a relação entre as qualidades podem interagir da maneira citada, deve-se compreender melhor o mecanismo de propagação de uma onda sonora.

2.4.3 Mecanismo de Propagação de Uma Onda-Tratamento Quantitativo

2.4.3.1 Relação densidade- pressão

Quando ocorre uma dada alteração de densidade têm-se, por conseqüência, uma determinada variação de pressão correspondente. Normalmente, um aumento de pressão, sobre uma dada massa de fluido, resulta numa redução de volume deste fluido. Segundo Costa (2003), a magnitude da variação percentual de volume correspondente é $-\Delta V/V$, e a razão entre esta e a variação de pressão ΔP é denominada de módulo de compressibilidade do fluido (K), expresso pela equação 9:

$$K = -\frac{\Delta V/V}{\Delta P} \quad (\text{eq. 9})$$

Esta relação mostra que quanto mais compressível for o fluido, maior será a variação percentual de volume provocada por uma dada variação de pressão (NUSSENZVEIG, 2002).

O módulo de elasticidade volumétrico (B) é dado pelo inverso de K, expresso na equação 10:

$$B = \frac{1}{K} = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (\text{eq. 10})$$

A densidade ρ do fluido é dada através da equação 11;

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{eq. 11})$$

onde M é a massa do fluido e V é o volume. Assim, a variação de densidade correspondente é, por diferenciação, expresso pela equação 12:

$$\Delta\rho = -M \frac{\Delta V}{V^2} = -\rho \frac{\Delta V}{V} \quad (\text{eq. 12})$$

Deste modo, Nussenzveig (2002) apresenta o módulo de elasticidade volumétrico através da equação 13:

$$B = \rho \left(\frac{\Delta P}{\Delta\rho} \right) \quad (\text{eq. 13})$$

De acordo com o mesmo autor, em uma onda sonora, as variações de pressão e densidade são extremamente pequenas se comparadas com os valores de equilíbrio dessas grandezas, isto quer dizer que a onda constitui uma pequena perturbação.

Chamando de p_0 e ρ_0 os valores de equilíbrio, ou não perturbados, da pressão e da densidade, respectivamente, e de P e ρ os valores na presença da onda, têm-se a equação 14:

$$\begin{aligned} P &= p_0 + p \\ \rho &= \rho_0 + \delta \end{aligned} \quad (\text{eq. 14})$$

onde:

$$\begin{aligned} |p| &\ll p_0 \\ |\delta| &\ll \rho_0 \end{aligned}$$

Deste modo, pode-se dizer que a variação de pressão máxima tolerável, sem provocar dor, numa onda sonora é dada pela expressão:

$$|p/p_0|$$

Portanto, a partir de Nussenzveig (2002), tem-se a equação 15;

$$\frac{p}{\delta} = \frac{P - p_0}{\rho - \rho_0} = \frac{\Delta P}{\Delta \rho} = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \quad (\text{eq. 15})$$

sendo que o índice (0) indica que a derivada é calculada em torno das condições de equilíbrio. O fato da pressão depender de duas variáveis, densidade e temperatura, justifica o aparecimento da derivada parcial (NUSSENZVEIG, 2002).

2.4.3.2 Relação deslocamento - densidade

Para estimar a relação existente entre a densidade e o deslocamento deve-se considerar uma onda unidimensional, propagando-se dentro de um tubo cilíndrico cuja seção transversal tem área A (Figura 5).

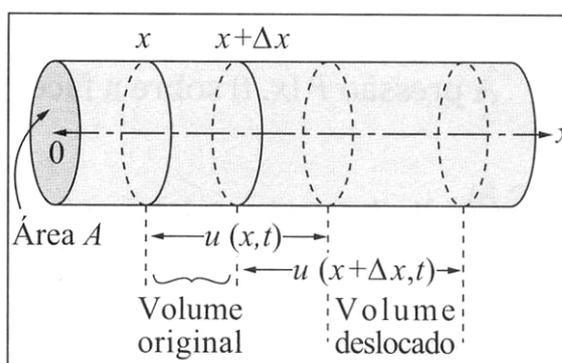


Figura 5 – Variação de volume em um tubo cilíndrico.
Fonte: NUSSENZVEIG, 2002

Tomando o eixo Ox ao longo do eixo do tubo, que coincide com o deslocamento da onda, e sendo $u(x, t)$ o deslocamento sofrido pelas partículas do fluido na seção transversal de coordenada x no instante t , têm-se que o volume anterior ao deslocamento do fluido compreendido entre as seções x e $x + \Delta x$ é dado por (NUSSENZVEIG, 2002) através da equação 16:

$$V = A[(x + \Delta x) - x] = A\Delta x \quad (\text{eq. 16})$$

Após o deslocamento e tomando Δx como infinitésimo o volume passa a ser (figura 5):

$$\begin{aligned} V + \Delta V &= A\{[(x + \Delta x) + u(x + \Delta x, t)] - [x + u(x, t)]\} \\ &= A\{\Delta x + [u(x + \Delta x, t) - u(x, t)]\} \\ &= A\Delta x \left\{ 1 + \frac{u(x + \Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} \right\} \\ &= A\Delta x \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \end{aligned}$$

resultando na expressão da equação 17:

$$\Delta V = A\Delta x \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (\text{eq. 19})$$

Levando em consideração as equações 12, 14 e 16, obtém-se que a variação de densidade associada à onda de deslocamento é expressa pela equação 18:

$$\delta = \rho - \rho_0 = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (\text{eq. 18})$$

O sinal negativo representa que se o deslocamento cresce com x ($\partial u / \partial x \geq 0$), produz-se uma rarefação ($\delta \geq 0$) (NUSSENZVEIG, 2002).

2.4.3.3 Relação pressão- deslocamento

Para compreender como a variação de pressão gera deslocamento, desta forma fechando o ciclo apresentado na Figura 1, deve-se considerar novamente o elemento de volume do cilindro da Figura 5 compreendido entre x e $x + \Delta x$, onde a massa correspondente é expressa pela equação 19 (NUSSENZVEIG, 2002):

$$\Delta m = \rho \Delta V = \rho_0 A \Delta x \quad (\text{eq. 19})$$

A pressão sofrida pelas faces, esquerda e direita, deste elemento, gera uma força correspondente às equações 20 e 21, respectivamente:

$$\Delta F_1 = P(x, t)A \quad (\text{eq. 20})$$

e,

$$\Delta F_2 = -P(x + \Delta x, t)A \quad (\text{eq. 21})$$

Deste modo, a força resultante sobre Δm é expressa pela equação 22:

$$\begin{aligned} \Delta F &= \Delta F_1 + \Delta F_2 \\ &= [P(x, t) - P(x + \Delta x, t)]A \\ &= \rho_0 A \Delta x \left[\frac{P(x + \Delta x, t) - P(x, t)}{\Delta x} \right] \end{aligned} \quad (\text{eq. 22})$$

$= \frac{\partial u}{\partial x}$

Aplicando a equação 14, têm-se a equação 23:

$$\Delta F = -\Delta V \frac{\partial u}{\partial x}(x, t) \quad (\text{eq. 23})$$

Nussenzveig (2002) apresenta a aceleração do elemento de volume considerado no instante t como o expresso pela equação 24:

$$a = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x, t) \quad (\text{eq. 24})$$

Assim, pela segunda lei de Newton, têm-se a equação 25 de movimento;

$$\Delta m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho_0 A \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta F = -A \Delta x \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{eq. 25})$$

dando origem a equação 26;

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{eq. 26})$$

que é a relação que estabelece, quantitativamente, as variações associadas às alterações de pressão e o respectivo deslocamento gerado.

2.5 O SOM E A MADEIRA

Para os meios sólidos a propagação da onda sonora se dá por meio da vibração dos corpos, onde as vibrações moleculares são responsáveis pela irradiação de energia (mecânica) nos diferentes sentidos de propagação dentro do sólido e pela dissipação conseqüente desta energia até que ela se perca totalmente, interrompendo deste modo, a propagação da onda sonora (NUSSENZVEIG, 2002; KOLLMANN e CÔTÉ, 1968).

A madeira como um material constitui um meio sólido no qual as ondas sonoras são capazes de se propagar. A teoria envolvida na forma de propagação é a mesma que foi descrita anteriormente, entretanto deve-se considerar que a resistência a esta propagação é diferente nos três sentidos da madeira e também se altera frente a algum tipo de defeito presente na peça.

Segundo Kollmann e Côté (1968), a velocidade de propagação da onda é dada pela equação 27;

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{eq. 27})$$

onde E é o módulo de elasticidade da madeira e ρ é a sua densidade.

Entretanto os mesmos autores demonstram que o fenômeno da propagação das ondas sonoras está intimamente ligado à densidade da madeira na qual a onda se propaga e definem a resistência de propagação como sendo uma função da variação da velocidade da onda em função da densidade do meio, a peça de madeira expressa pela equação 28;

$$w = \rho v \quad (\text{eq. 28})$$

onde w é a resistência à propagação da onda sonora e v é a velocidade de propagação da onda. Esta fórmula apresenta o valor médio total da resistência w , visto que ela não leva em conta as variações intrínsecas da madeira, como formação anatômica, presença de água e seus gradientes de umidade, entre outros. É esta resistência que proporciona a dissipação da energia da onda sonora e é responsável pela variação das qualidades da onda durante sua propagação no interior da madeira.

Os autores (KOLLMANN e COTE, 1968) discutem ainda uma variação da equação 28, onde se relaciona a resistência de propagação com o módulo de elasticidade (E) da madeira expressa pela equação 29:

$$w = \sqrt{\rho E} \quad (\text{eq. 29})$$

As relações matemáticas que envolvem o módulo de elasticidade dos materiais, os diferentes tipos de madeiras, atualmente representam significativa importância nos estudos de suas propriedades mecânicas. Estudos estes que vêm acompanhar o desenvolvimento de tecnologias não destrutivas de análise.

As propriedades acústicas da madeira são mais estudadas para o desenvolvimento de três segmentos que atualmente podem interessar o mercado. São eles os instrumentos musicais, conforto acústico e, o já citado, estudo das propriedades mecânicas.

Para o estudo em questão, quantificar a resistência w é importante, pois é necessário garantir que a onda sonora chegue aos insetos no interior da madeira com as qualidades específicas determinadas para inibição do ataque. Para saber quais são as qualidades mais pertinentes deve-se compreender como elas interagem com os agentes xilófagos a partir de sua anatomia e fisiologia.

2.6 INSETOS XILÓFAGOS

Os insetos xilófagos são animais invertebrados da classe Insecta, sendo esta pertencente ao filo Arthropoda e dividida em aproximadamente 30 ordens (ROCHA, 2001; LEPAGE *et al.*, 1986). Destas ordens três destacam-se como importantes economicamente para o setor madeireiro, sendo elas Coleoptera (besouros), Isoptera (cupins ou térmitas) e Hymenoptera (formigas, vespas e abelhas) (ROCHA, 2001).

A anatomia e fisiologia dos insetos são de grande importância para o desenvolvimento de métodos alternativos de prevenção do seu ataque como a utilização de frequências sonoras. Para este método em questão o foco de atenção está nos órgãos sensoriais e a forma de resposta dos estímulos recebidos. Os insetos utilizados nesta pesquisa pertencem à ordem Isoptera sendo desta forma o estudo direcionado a mesma.

2.6.1 Ordem Isoptera

Os insetos pertencentes a esta ordem apresentam cabeça livre, com forma e tamanho variáveis dependendo da espécie e também nas diferentes castas (ou formas) de uma mesma espécie. Nos indivíduos alados geralmente se encontram presentes olhos facetados e nas formas ápteras, quando presentes, são atrofiados. Possuem antenas simples, cujos segmentos variam, dentre as castas, de 9 a 32 segmentos sub-iguais, inseridas aos lados da cabeça numa depressão pouco profunda acima da base da mandíbula. Apresentam aparelho bucal mastigador, com mandíbulas normalmente bem desenvolvidas e por vezes, como no caso dos soldados, robustas, conspícuas ou mesmo disformes. Possuem palpes maxilares longos de cinco segmentos e labiais de três (SANTOS, 1982).

Apresentam três pares de patas, sendo que todas elas são cursoriais. Os indivíduos reprodutores adultos possuem dois pares de asas sub-iguais e membranosas. Próximo à base das asas há uma sutura curvada, ponto este onde a asa se rompe ao se destacar do corpo após a revoada. Seu abdome é volumoso, aderente ao tórax, de 10 segmentos que apresenta o último par de cercos curtos (SANTOS, 1982).

Os cupins são insetos hemimetábolos, eusociais e predominantemente tropicais (LEPAGE *et al.*, 1986). Suas castas ou formas são divididas em três grupos, sendo eles o rei e rainha da colônia, os operários e os soldados. Algumas espécies podem apresentar também os nasutos, que possuem a mesma função dos soldados (ROCHA, 2001).

Os cupins são divididos em três grupos, sendo classificados de acordo com seus hábitos. O primeiro destes grupos é o dos cupins de madeira úmida, que se caracteriza por ataque a madeiras com alto teor de umidade e desenvolvem-se melhor em madeiras em condições abafadas e já apodrecidas. O segundo grupo é o dos cupins subterrâneos, que se caracterizam por formar suas colônias no solo. Fazem isso devido ao fato de não possuírem um revestimento de quitina, que os torna vulneráveis a baixa umidade. Deste modo, desenvolvem-se em condições de elevada umidade, como o subsolo. Entretanto, estes insetos podem atacar madeira seca, mas necessitam construir túneis de barro e outros materiais para manter em

seu interior a umidade requerida para o seu metabolismo. O terceiro grupo é o dos cupins de madeira seca, que se caracterizam por atacar madeiras com baixos teores de umidade. Devido a sua maior resistência a variação de umidade, estes insetos podem ser encontrados em diversos tipos de habitat (móveis, pisos, janelas, elementos estruturais, etc.) e permitem-se desenvolver a colônia na própria peça de madeira atacada (ROCHA, 2001; SANTOS, 1982).

Segundo Lepage *et al.* (1986), a ordem Isoptera contém mais de duas mil espécies distribuídas em sete famílias, dentre as quais quatro podem ser encontradas no Brasil. Estas famílias são Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae e Serritermitidae, sendo que esta última só ocorre no Brasil e possui apenas uma espécie. Os insetos utilizados neste trabalho foram da espécie *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae) que, ainda de acordo com Lepage *et al.* (1986), vivem exclusivamente dentro da madeira da qual retiram seu alimento. As colônias da família Kalotermitidae são pouco populosas, apresentando alguns milhares de indivíduos e suas galerias são apenas escavadas na madeira.

2.6.2 Sistema Nervoso

A evolução do cérebro dos artrópodes foi um grande processo de cefalização, onde a região anterior do sistema nervoso se transformou em um importante centro de controle. O cérebro passou a integrar a entrada sensorial e a saída motora, bem como a coordenação da atividade dos apêndices segmentares. Graças à formação do cérebro houve o desenvolvimento dos órgãos dos sentidos efetivos e eficientes, como antenas e olhos (RUPPERT *et al.* 2005).

O sistema nervoso dos insetos xilófagos inclui o sistema nervoso central (SNC) (figura 6), constituído pelo cérebro, cordão nervoso central e o sistema nervoso periférico (SNP). Este último sistema é constituído por nervos segmentares que conectam os músculos e os órgãos dos sentidos ao SNC. Os neurônios motores e sensoriais dos nervos do SNP levam a informação sensorial ao SNC e transmitem as respostas motoras a partir do SNC. Restritos ao SNC estão os interneurônios, os quais medeiam às interações entre neurônios sensoriais e os motores (RUPPERT *et al.*, 2005). Este é um dos pontos de ação do tratamento com frequências sonoras

onde se pode gerar uma disfunção motora nos insetos e uma alteração nos padrões de comportamento dos mesmos.

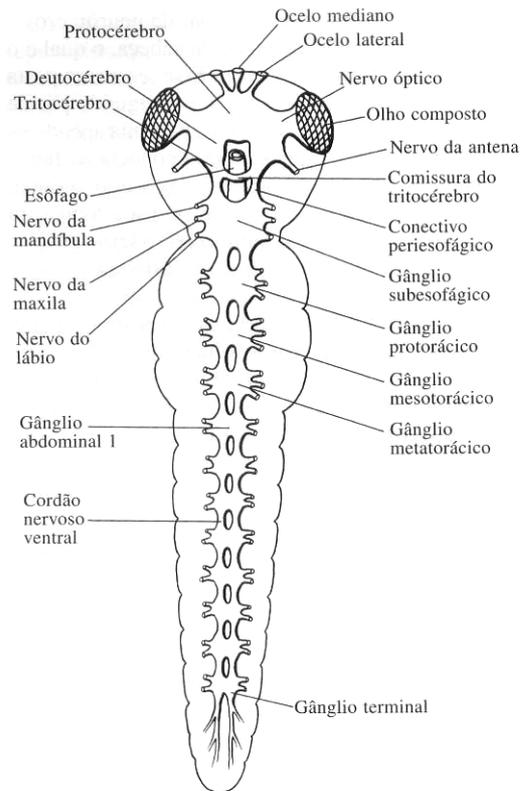


Figura 6 – Vista ventral do sistema nervoso central de um inseto generalizado. Fonte: RUPPERT et al., 2005, pg 618

Para compreender como as informações externas, no caso o som, são percebidos pelo inseto, ativando os sistemas acima mencionados, deve-se conhecer a estrutura e funcionamento dos órgãos sensoriais.

2.6.3 Órgãos Sensitivos

Os órgãos sensitivos dos insetos, normalmente, são de tamanho microscópico e ficam localizados principalmente na parede de seu corpo (BORROR e DELONG, 1969). Atualmente têm-se conhecimento de três tipos fundamentais de órgãos sensoriais, sendo eles os de sentido mecânico, de sentido químico e órgãos visuais. Existe também uma grande capacidade, gerada por outros órgãos, dos insetos perceberem temperatura e a umidade, entretanto a maneira de como isso

ocorre ainda não é bem conhecida (BORROR e DELONG, 1969; BORROR *et al.*, 1989).

2.6.3.1 Sentidos mecânicos

Existem três tipos principais de órgãos sensitivos receptivos de estímulos mecânicos (mecanorreceptores), espinhos e pêlos táteis, sensilas campaniformes e sensilas cordotonais (Figura 7) (BORROR e DELONG, 1969). Estes órgãos são responsáveis por estimular a reação dos insetos ao toque, pressão ou vibrações, e fornecem informações para sua orientação, geralmente movimentos, alimentação, presença de predadores, reprodução e outras atividades (BORROR *et al.*, 1989).

Os estímulos gerados no meio são percebidos pelo inseto como uma perturbação que altera o posicionamento inicial, ou de repouso dos mecanorreceptores, afetando a polaridade da membrana do neurônio e o cérebro (RUPPERT *et al.*, 2005). Os mecanorreceptores simples são formados por uma cerda oca que contém um ou mais neurônios sensoriais em seu interior, como pode ser visto detalhadamente na Figura 7 (RUPPERT *et al.*, 2005; BORROR *et al.*, 1989). Deste modo a ativação do neurônio depende da movimentação das cerdas, a qual varia de acordo com as diferentes pressões existentes no meio. Isso quer dizer que quanto maior a pressão externa, maior será a deflexão das cerdas e, conseqüentemente, maior será o estímulo recebido ou percebido pelo inseto. Estas deflexões estão associadas, por exemplo, às correntes de ar de alta ou baixa intensidade (força e velocidade) (RUPPERT *et al.*, 2005).

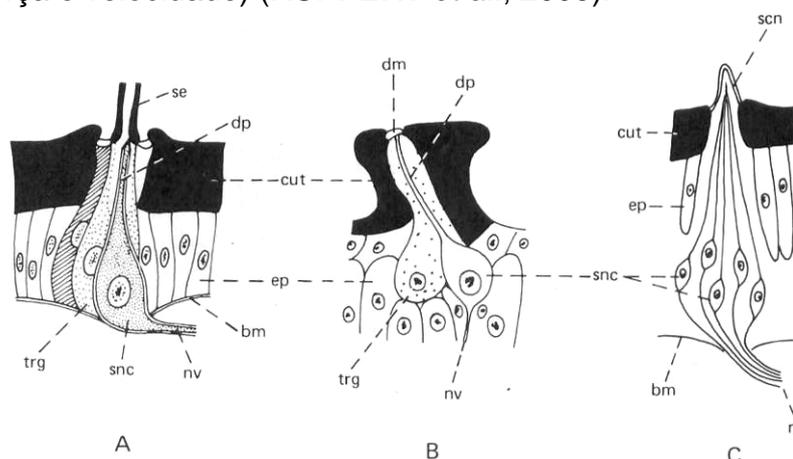


Figura 7 – Detalhe: A- sensila de inseto; B- sensila cordotonal; C- sensila campaniforme. Fonte: BORROR *et al.*, 1989, pg 52

Como visto anteriormente, o som é uma seqüência contínua de regiões de alta e baixa pressão geradas no meio que são interpretados por órgãos especializados. No caso dos insetos podem-se encontrar dois órgãos com esta finalidade, as sensilas cordotonais e o órgão timpânico (RUPPERT *et al.*, 2005; BORROR *et al.*, 1989). “Os órgãos cordotonais são sensilas que apresentam finos cordões de tecido ou cutícula mantidos esticados entre duas porções mais grossas da cutícula. Um dendrito está ligado ao cordão e a deformação do cordão despolariza a membrana do dendrito. Órgãos cordotonais detectam alterações de tensão (estiramento) decorrentes de mudanças de pressão...” (RUPPERT *et al.*, 2005, pg. 620). Segundo os mesmos autores, órgãos timpânicos são cordotonais adaptados a detectar as ondas sonoras no meio, e estas sensilas estão presentes nos táxons de insetos das mariposas, cigarras, grilos e gafanhotos. Deste modo, os agentes xilófagos estudados neste trabalho (cupins) não apresentam órgãos timpânicos.

Levando em consideração que os insetos estudados utilizam as mesmas estruturas de percepção de movimento e espacialidade para perceber o som, têm-se possibilidades diversas de aplicação de sons específicos para diferentes fins. Basta conhecer como as informações são processadas e as faixas de freqüência que melhor correspondem ao proposto. Sabe-se que as vibrações no corpo do inseto podem ser iniciadas por estímulos diretos ou estímulos induzidos (ressonância) através das ondas sonoras que se propagam no meio. A faixa de freqüências cujos órgãos sensitivos dos insetos são capazes de identificar as vibrações sonoras é de 200 a 3000 Hz (BORROR *et al.*, 1989). Entretanto, Schmidt-Nielsen (2002) coloca que os órgãos auditivos dos insetos, aparentemente, não são capazes de distinguir tons e que as informações são transmitidas principalmente como alterações na intensidade, duração e padrão de som. Outro fato relevante apresentado pelo mesmo autor é que as informações significativas parecem ser transmitidas no padrão de pulsos e não na qualidade dos tons ou timbre.

A partir do exposto abrem-se duas possibilidades de estudo, sendo elas a utilização de sons puros contínuos e sons com padrões de pulsos diferentes. Deste modo desenvolveu-se uma metodologia que explorou estas características buscando um melhor resultado na inibição do ataque dos agentes xilófagos em obras de arte.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os ensaios de freqüências sonoras foram realizados em quatro ambientes distintos, sendo eles um estúdio, uma sala comum de uma residência e duas salas com o efeito de reverberação evidente. No estúdio foram realizados os principais ensaios (caracterização do comportamento natural dos cupins, sensibilidade às freqüências, teste dos “30-30”, teste de eficiência e eficiência na madeira e o teste de isolamento acústico). Nos outros ambientes foi realizado apenas o teste de eficiência com o intuito de verificar e validar os resultados obtidos no estúdio. Todos os lugares foram ambientes particulares concedidos pelos proprietários para a realização desta pesquisa.

Para se avaliar o efeito do som sobre o comportamento dos cupins foi utilizado o estúdio citado, adaptado para as condições da pesquisa. Este estúdio consistiu em uma sala com paredes revestida por quatro camadas de material, sendo eles cerâmica, isopor, madeira e papelão (formato caixa de ovo) nesta respectiva ordem. Estes materiais tinham a função de controlar a reflexão do som na sala e diminuir o tempo de reverberação, assim possibilitando um som mais puro e sem interferências (Figura 8).



Figura 8 – Foto ilustrativa do experimento dentro do estúdio

Os testes complementares, para verificação e validação dos resultados, foram realizados em três ambientes distintos. O primeiro ambiente foi uma sala comum de uma residência, simulando as condições de um ateliê/laboratório de conservação e restauro (Figura 9). O segundo e o terceiro foram salas, com dimensões de 20 e 45 m², onde foi possível identificar perfeitamente os fenômenos de reverberação. Estas salas foram denominadas de reverberação I e reverberação II respectivamente (Figura 10).



Figura 9 – Foto ilustrativa da sala que simulou um ateliê/laboratório de conservação e restauro (particular)



Figura 10 – Salas com fenômeno de reverberação; à esquerda o ambiente de reverberação I, com 20 m² e à direita o ambiente de reverberação II, com 45 m²

3.2 FREQUÊNCIAS SONORAS

3.2.1 Composição e Formação dos Sons

Para a composição e formação dos sons foram utilizados dois programas específicos de edição de som. O primeiro programa foi o “Construindo Sons”, versão 0.9, desenvolvido pela Universidade de São Paulo (Estação Ciência), com a colaboração da Universidade Federal de Santa Catarina e apoio da empresa italiana Olivetti. Este programa foi utilizado para a composição (determinação e criação) das frequências e amplitudes dos sons desejados, de maneira que os mesmos apresentassem as características de frequência de 200 a 3000 Hz (baseada na literatura - BORROR *et al.*, 1989).

O outro programa foi o “*Gold Wave*”, versão 5.23, disponível gratuitamente para teste no site “<http://baixaki.ig.com.br>”, desenvolvido pela empresa Gold Wave Inc. Este programa foi utilizado para a edição final dos tratamentos (tempo de reprodução, equalização, ordenamento de frequências, etc.) e conversão dos arquivos para formatos reproduzíveis em aparelhos comuns.

3.2.2 Reprodução dos Sons

Para a reprodução dos sons foi utilizada uma caixa acústica com potência RMS³ de 150 W, sistema acústico de duas vias (*woofer* 10” e *driver*), impedância do alto-falante de 8 Ω , frequência de resposta de 20 Hz – 20 KHz, com dimensões de altura, largura e comprimento de 520 x 340 x 325 mm respectivamente (Figura 11).

³ A potência RMS (do inglês root mean square) ou valor quadrático médio é a potência gerada por uma corrente e tensão alternada que tem o mesmo efeito de uma corrente e tensão contínua. O valor da potência RMS indica o valor nominal real da potência de saída.



Figura 11 – Caixa acústica utilizada na reprodução das freqüências sonoras

3.3 ESPÉCIE DE CUPIM UTILIZADA

Os agentes biodeterioradores escolhidos para a execução desta pesquisa foram os cupins *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae), provenientes de uma colônia particular situada na região de Curitiba, Paraná.

Os insetos foram identificados no Laboratório de Biodeterioração e Preservação da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

3.4 ENSAIOS DE FREQUÊNCIAS SONORAS E DE COMPORTAMENTO DOS CUPINS

Para a determinação das freqüências sonoras capazes de afetar os cupins e de que forma as mesmas ocorreram, foram realizados quatro ensaios diferentes. Os ensaios partiram de características mais gerais das propriedades do som e, a partir dos resultados obtidos em cada experimento, as faixas de freqüências utilizadas foram diminuídas para a construção dos sons com melhores resultados.

Para a avaliação do comportamento dos cupins em relação às freqüências sonoras foram realizados os seguintes testes: de “caracterização do comportamento natural dos cupins”, de “sensibilidade às freqüências”, teste dos “30-30”, teste de “eficiência” e o teste de isolamento acústico, os quais são detalhados a seguir.

3.4.1 Teste de Caracterização do Comportamento “Natural” dos Cupins

Para estimar um padrão de comportamento para os insetos estudados foram consideradas duas amostras com seis indivíduos cada, as quais foram observadas durante um período de 24 horas. Na primeira hora, foram feitas observações de cinco em cinco minutos e na segunda e terceira hora em intervalos de 10 minutos. Da quarta a oitava hora, as amostras foram observadas a cada hora e na hora subsequente, de 10 em 10 minutos. Nas 14 horas seguintes foram realizadas observações de duas em duas horas e posteriormente, completando o período de tempo estipulado, foi realizada uma observação na 24^a hora.

A classificação do comportamento padrão dos cupins seguiu o modelo apresentado no Quadro 1 onde, em cada observação, os insetos foram classificados como apresentando um dos tipos de atividades descritas. Isto foi realizado para que se pudesse construir uma curva de atividade dos insetos, permitindo estimar um comportamento padrão para os mesmos.

As observações foram realizadas de acordo com as condições do experimento, ou seja, seguiu a montagem experimental (descrita em “teste de sensibilidade”).

Quadro 1 – Classificação das atividades e comportamento dos cupins *Cryptotermes sp.* (Isoptera: Kalotermitidae)

Atividade e comportamento dos cupins
Parados
Lenta/ Moderada
Acelerado/ Agitado

3.4.2 Teste de Sensibilidade às Frequências

O objetivo deste teste foi identificar faixas de frequências com potencial de desenvolvimento para que se pudesse concentrar a atenção em faixas menores, tendo como consequência uma maior precisão na determinação da frequência ideal para o estudo proposto.

Para este teste foram construídos 29 tipos de sons (tratamentos) cuja diferença entre eles foi apenas a característica de frequência (Quadro 2). Estas frequências foram escolhidas de modo a varrer toda a faixa de frequências cujos órgãos sensitivos dos cupins são capazes de identificar as vibrações sonoras, as quais variam de 200 Hz a 3 KHz (BORROR *et al.*, 1989) e a estarem presentes dentro da faixa audível do homem (20Hz a 20 KHz). Cada som construído para este teste teve uma duração exata de 20 minutos.

Quadro 2 – Características do som para os tratamentos construídos

Identificação dos Tratamentos	Frequência (Hz)	Amplitude	Teste		
			Sensibilidade às Frequências	dos "30-30"	Eficiência na Madeira
1	200	50	20	1	
2	300	50	20	1	
3	400	50	20	1	
4	500	50	20	1	
5	600	50	20	1	
6	700	50	20	1	
7	800	50	20	1	
8	900	50	20	1	
9	1000	50	20	1	
10	1100	50	20	1	
11	1200	50	20	1	
12	1300	50	20	1	
13	1400	50	20	1	
14	1500	50	20	1	
15	1600	50	20	1	
16	1700	50	20	1	
17	1800	50	20	1	
18	1900	50	20	1	
19	2000	50	20	1	
20	2100	50	20	1	
21	2200	50	20	1	
22	2300	50	20	1	
23	2400	50	20	1	
24	2500	50	20	1	
25	2600	50	20	1	
26	2700	50	20	1	
27	2800	50	20	1	
28	2900	50	20	1	
29	3000	50	20	1	
30	300/700	4 cristas	50		90
31	300/700	10 cristas	50		90
32	300/700/500	10 cristas	50		90
33	300/700/500	5 segundos	50		90
34	300/300	2 segundos	128-50		90
35	700/700	2 segundos	128-50		90

Além das 29 frequências (sons) foram utilizados também uma caixa acústica e um aparelho reproduzidor de sons.

Os insetos foram colocados em um recipiente especialmente produzido para permitir a passagem da pressão de ar e suas variações e, ao mesmo tempo, impedir a fuga dos cupins. Este recipiente tinha o formato de um cubo, com dimensões de 15 x 15 x 15 cm, e suas faces foram feitas com tule e suas hastes de madeira (Figura 12). O piso deste cubo foi revestido com um papel especial que foi umedecido com água para ajudar a manter a umidade corpórea dos insetos. Este cubo então, foi colocado em frente da caixa acústica de modo a ficar suspenso por um fio, assim totalmente suscetível as variações de pressão geradas pelos sons. A distância entre o centro do cubo onde os insetos estavam e a caixa acústica foi de 26 cm (Figura 13).

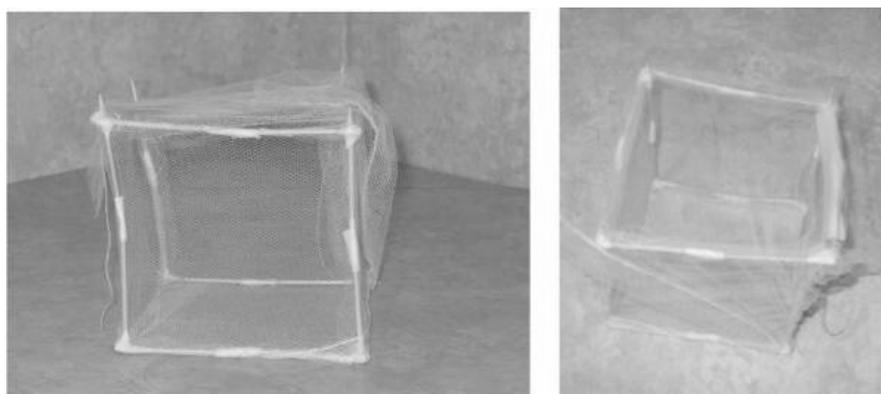


Figura 12 – Recipiente usado para os testes montado com hastes de madeira de 15 cm de comprimento e faces de tecido tule



Figura 13 – Montagem do experimento de sensibilidade às frequências

Foi desenvolvida uma escala de sensibilidade aos efeitos da pressão sobre os cupins, a qual variou entre zero e cinco, objetivando padronizar uma medida de ordem relativa em relação às observações visuais do comportamento dos insetos expostos ao som (Quadro 3). Esta escala baseou-se na comparação do comportamento apresentado pelos insetos no teste de caracterização do comportamento padrão e em reações adversas que os mesmos apresentaram ou poderiam vir a apresentar.

Quadro 3 – Escala de Sensibilidade dos efeitos da pressão sonora sobre os insetos

Escala de Sensibilidade	
Nível	Efeito Associado
0	Não apresentou diferença em relação ao teste de caracterização do comportamento natural dos cupins.
1	Apresentou poucas alterações em relação ao teste de caracterização do comportamento natural dos cupins, com possibilidade de desenvolvimento para frequências próximas.
2	Afetou com baixa intensidade. O comportamento foi diferente do apresentado pelo teste de caracterização do comportamento natural dos cupins.
3	Afetou de forma moderada em relação ao teste de caracterização do comportamento natural dos cupins. Os insetos mantiveram-se inquietos, apresentando sinais de letargia e/ou agitação intensa em diferentes períodos da exposição.
4	Afetou de forma moderada à intensa ao longo do tempo em relação ao teste de caracterização do comportamento natural dos cupins. Variações abruptas de comportamento (como em 3), com afastamento e/ou aproximação da fonte (fenômeno de taxia).
5	Afetou de forma intensa do início ao fim do teste em relação ao teste de caracterização do comportamento natural dos cupins. Letargia e/ou agitação intensa durante todo o período de exposição, podendo apresentar morte de alguns indivíduos.

Foram retiradas, por amostragem aleatória simples, 29 amostras com quatro indivíduos cada, as quais foram expostas aos tratamentos, sendo uma amostra para cada tipo de frequência. Foram escolhidos quatro indivíduos por amostra em função de que os insetos foram coletados de uma única colônia e este número, quatro, foi definido a partir do tamanho da colônia e o número de testes realizados. Devido ao

método de amostragem aleatória, algumas amostras apresentaram a presença de soldados e operários.

O tempo de exposição foi de 20 minutos ininterruptos para cada som criado, sendo que o mesmo inseto não foi exposto a mais de um tipo de frequência.

As observações ocorreram em intervalos de cinco minutos, contando com o momento em que se iniciava a exposição dos insetos ao som. Foram realizadas observações de hora em hora após o termino dos tratamentos, tendo uma duração total de 15 horas.

Com o objetivo de simular a força exercida pelos sons construídos sobre a superfície de uma obra de arte, desenvolveu-se um sistema simples que permitiu detectar de forma direta esta força e suas variações. Atrás do recipiente onde se encontravam os insetos foi colocada uma folha de papel vegetal de maneira que esta recebesse as mesmas variações de pressão. O deslocamento desta folha foi monitorado, utilizando-se uma escala milimétrica para medir a intensidade da pressão exercida pelos sons criados (Figura 14). Nesta montagem, a folha de papel vegetal representou a superfície de obras de arte fragilizadas e o seu deslocamento foi comparado ao deslocamento que a superfície da obra sofreria. Deste modo, a amplitude de deslocamento alcançada pela folha de papel vegetal permitiu mensurar a força de pressão do som, associando-a a possíveis danos em obras de arte.

Este modelo de medição de pressão foi utilizado, pois permitiu uma visualização mais concreta e prática dos efeitos das ondas sonoras sobre a superfície de obras fragilizadas.



Figura 14 – Montagem completa do experimento de sensibilidade às frequências sonoras dentro do estúdio

3.4.3 Teste dos “30-30”

Este teste foi desenvolvido com o intuito de identificar as frequências que tinham um impacto mais imediato sobre o comportamento dos cupins, e observar a resposta dada pelos insetos frente a contínuas variações de pressão às quais foram expostos. Verificou-se também, o grau de influência da variação de força do som de mesma frequência no comportamento dos cupins.

Para o teste dos “30-30” foram utilizados os mesmos sons construídos anteriormente, mas com uma edição de tempo de um minuto de duração para cada frequência.

A montagem do experimento foi a mesma do anterior, respeitando as distâncias, utilizando o mesmo recipiente, a mesma amostragem, mas com insetos diferentes.

Neste teste houveram duas etapas de execução. Na primeira, cada amostra foi submetida a uma única frequência por um tempo de um minuto, sendo que nos 30 segundos finais a força do som foi aumentada em 100%. Ou seja, nos primeiros 30 segundos os insetos foram expostos a uma dada força de pressão (a mesma do teste de sensibilidade) e nos últimos 30 segundos esta força foi aumentada abruptamente para um nível duas vezes maior.

A segunda etapa consistiu na exposição de uma amostra a todas as frequências em seqüência, com as respectivas variações de força. Deste modo esta amostra foi submetida a 29 sons diferentes com a duração de um minuto cada.

Para ambas as etapas foi considerada a escala de sensibilidade (Quadro 3) e o quadro 1, de classificação de comportamento dos cupins, para auxiliar na avaliação dos resultados.

A observação deste teste ocorreu simultaneamente à sua execução e, no pós tratamento, em períodos de uma hora, num tempo total de 10 horas.

3.4.4 Teste de Eficiência

O objetivo deste teste foi determinar o tipo de som com as melhores propriedades para inibir o ataque de cupins na madeira.

Para os testes de eficiência foram consideradas duas metodologias distintas. A primeira foi desenvolvida a partir dos resultados obtidos nos testes anteriores baseando-se na construção de sons puros e sons com variações de frequência. Os sons puros foram construídos com ondas senoidais, sendo que alguns destes sons apresentaram amplitudes contínuas e, outros, variações desta característica dentro da mesma frequência.

Foram construídos também sons com variações contínuas de frequências, levando-se em consideração as faixas identificadas com os melhores resultados nos testes anteriores. Para a construção destes sons foram utilizadas combinações de duas e três frequências distintas com arranjos de tempo diferentes. Para a composição dos tempos de duração de cada frequência foi utilizado o número de cristas da onda, sendo que as diferentes frequências tinham um mesmo número de cristas. A quantidade de cristas foi determinada a partir do efeito de variação de pressão causado, sendo assim construídos sons com variações abruptas de pressão, resultando num efeito sonoro de batidas.

Deste modo, foram compostos seis tipos de sons diferentes, sendo quatro destes com duas frequências e dois com três frequências. O primeiro som composto possuía as características de frequências 300-700 Hz, com quatro cristas. O segundo som composto apresentou frequências de 300-700 Hz e com dez cristas. O terceiro associou três frequências distintas, sendo elas 300-700-500 Hz e com dez cristas. Após a realização dos testes com estes sons percebeu-se que com um tempo maior para cada frequência, os resultados foram melhores do que aqueles obtidos com um efeito semelhante ao de batidas (frequências com pequeno comprimento de onda). Deste modo, estipulou-se um tempo de duração de dois segundos para cada frequência e se formulou mais três tipos de som, sendo o primeiro deles com frequências de 300-700-500 Hz, o segundo com 300-300 Hz de frequência e amplitudes distintas (de 128 e 50) e o último de 700-700 Hz e amplitudes de 128 e 50.

As aplicações destes novos sons seguiram as mesmas metodologias descritas no teste de sensibilidade, entretanto foi utilizado um tempo de exposição de 90 minutos, com observações de cinco em cinco minutos nos primeiros 20 minutos e, posteriormente, em períodos de 10 minutos. Para este teste também

foram realizadas observações de hora em hora após o termino dos tratamentos, tendo uma duração total de 15 horas.

Foram realizados testes com as mesmas características do anterior, entretanto, o recipiente utilizado para conter os insetos foi diferente (Figura 15). Este recipiente era constituído de uma peça de madeira, da espécie *Pinus sp.*, previamente perfurada em dois pontos, objetivando simular uma obra de arte atacada por cupins, possibilitando, deste modo, verificar os efeitos da aplicação do método proposto sobre os insetos. Foram feitos dois furos em uma peça de madeira com dimensões de 250 x 80 x 45 mm, sendo estas perfurações com 30 mm de profundidade e 8 mm de diâmetro. Dentro de cada abertura foram colocados três cupins. As aberturas na madeira permaneceram desobstruídas de modo a permitir a livre passagem dos insetos.



Figura 15 – Peças de madeira com perfurações para colocação de cupins adultos em seu interior

3.4.5 Teste de Isolamento Acústico

A metodologia adotada foi a de expor os cupins a um ambiente de ausência completa de sons. Para isto foi utilizada uma caixa anti-ruído, construída para isolar

o seu interior de qualquer influência sonora externa. Os materiais utilizados para a confecção desta caixa foram a madeira, o silicone, o isopor e a borracha (Figura 16).

As paredes da caixa foram construídas com três camadas de isopor (com espessura de 20 mm cada) e duas camadas de madeira com 15 mm de espessura. O silicone e a borracha foram utilizados na vedação da caixa e da tampa da mesma. Para o fluxo de ar no interior da caixa foi feito um canal não contínuo do interior ao exterior de maneira que o som fosse totalmente absorvido enquanto passava por este canal de ar.

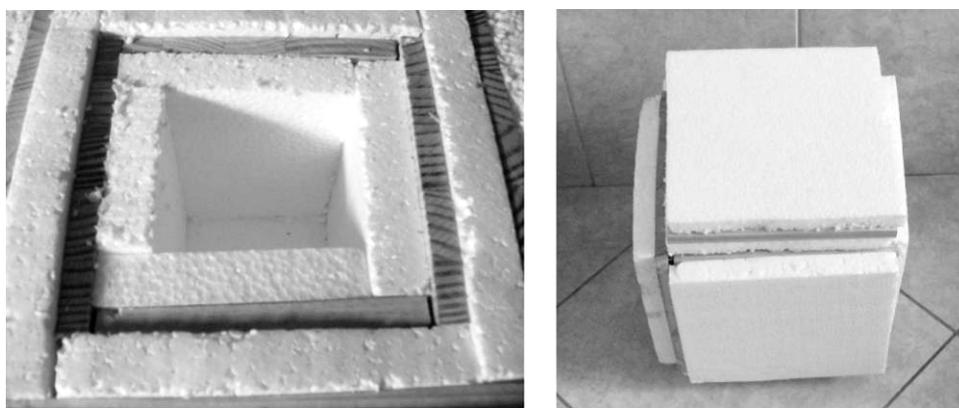


Figura 16 – Caixa anti-ruído utilizada

Para verificar os efeitos da ausência de sons sobre os cupins foram realizados dois testes. No primeiro teste quatro insetos foram colocados numa abertura no interior da caixa anti-ruído, localizada exatamente em seu centro, e mantidos isolados por um período de 24 horas, com observações nos tempos de três, seis, 12 e 24 horas. No segundo teste foram utilizados seis insetos e não foram realizadas observações durante as 24 horas, deste modo, garantindo um completo isolamento dos insetos durante todo o tempo do teste. Para cada um dos dois testes foram utilizados insetos diferentes. Após o tempo de isolamento os cupins foram observados em intervalos de 30 minutos por um período de cinco horas, tendo como base de comportamento os quadros 1 e 3.

3.5 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Os cupins retirados para todos os testes foram realizadas por amostragem aleatória simples. A avaliação dos efeitos do som sobre os cupins seguiu o modelo apresentado no Quadro 3 e baseando-se nos comportamentos apresentados no Quadro 1. Foi utilizado o teste dos sinais para determinar se os diferentes ambientes testados (estúdio, ateliê, reverberação) apresentaram um resultado estatisticamente sem diferença significativa (Anexo III). Este é um teste não paramétrico que leva em consideração os efeitos e as intensidades de cada tratamento. É aplicado em situações em que o pesquisador deseja determinar se duas condições são diferentes. A variável de estudo poderá ser intervalar ou ordinal. O nome “teste dos sinais” se deve ao fato de se utilizar em sinais “mais” e “menos” em lugar dos dados numéricos. Assim, se houver alteração para maior, usa-se (+), se para menor, (-). Não havendo alteração, atribui-se (0). Para o teste desconsideram-se os casos de empate, ou seja, os pares em que foram atribuídos zeros.

A lógica do teste é que as condições podem ser consideradas iguais quando as quantidades de “+” e “-“ forem aproximadamente iguais.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TESTE DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO “NATURAL” DOS CUPINS

De acordo com o observado no teste para a caracterização do comportamento natural dos cupins (*Cryptotermes sp.*), a movimentação percebida nos cupins foi que, em média, nas 43 observações realizadas, 75% dos mesmos encontravam-se parados (relativo à posição), e os outros 25% estavam em movimentação (Tabela 1).

TABELA 1 – Distribuição do padrão de comportamento dos cupins (*Cryptotermes sp.*) observados ao longo de 24 horas para o teste de caracterização do comportamento “natural” dos cupins

Tipo de Atividade	Número Médio de Cupins	%	Desvio Padrão
Parados	9	75	1,38
Lenta/ Moderada	2	17	1,50
Acelerado/ Agitado	1	8	0,98
Total	12	100	

Considerando-se o tempo total de observação, de 24 horas, se percebeu que havia pouca variação em suas posições, tendo como um tempo médio de 24 minutos entre os deslocamentos observados. O que significa dizer que durante este período os insetos não variaram suas posições relativas como se pode visualizar nas regiões lineares horizontais da Figura 17. Esta figura mostra, em porcentagem, a quantidade de insetos xilófagos que permaneciam parados ao longo das observações.

Pode-se perceber que os cupins tenderam a permanecer mais tempo em repouso à medida que o tempo foi passando. Isso se deve ao fato de os insetos começarem a se adaptar ao ambiente nos quais foram expostos (condições de teste) demonstrando seu comportamento natural. A atividade mais intensa ocorreu durante as duas primeiras horas (Figuras 17 e 18), sendo este o período no qual os insetos estavam buscando um melhor posicionamento dentro do recipiente de teste.

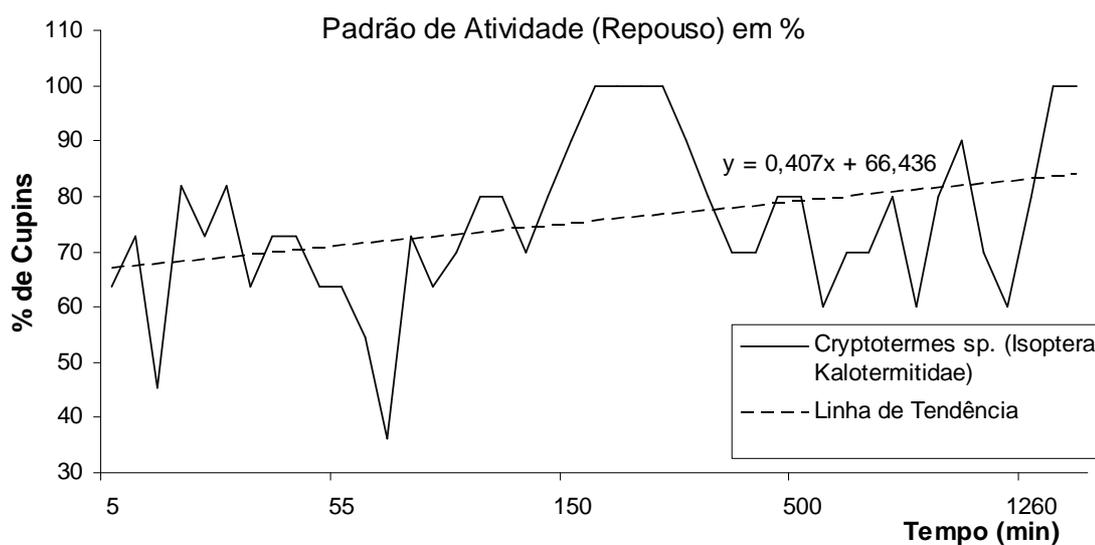


Figura 17 – Atividade de repouso dos insetos do gênero *Cryptoterme sp.* em função do tempo.

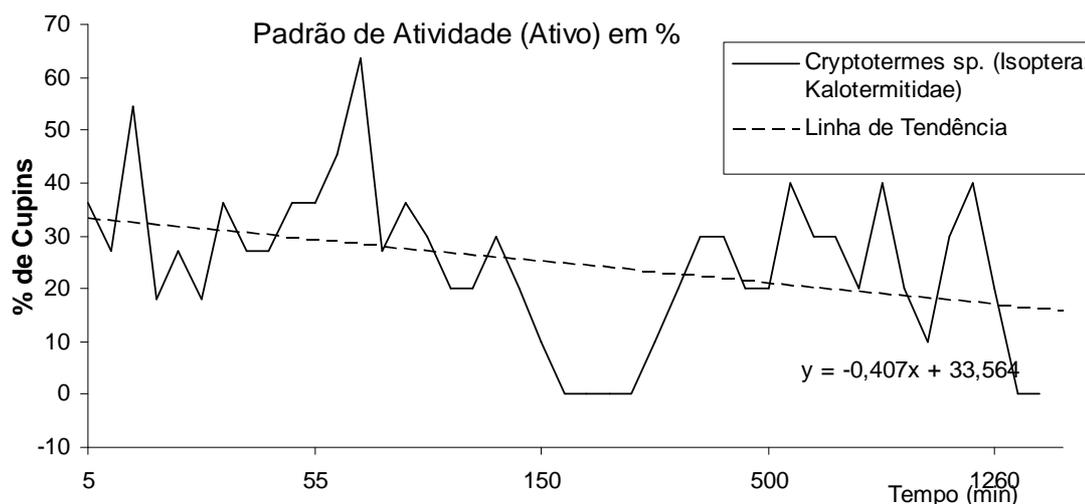


Figura 18 – Atividade de cupins do gênero *Cryptoterme* em função do tempo.

Outro fato percebido por meio das observações foi que os cupins (como indivíduos) apresentaram uma tendência em manter o seu padrão de comportamento ao longo do tempo. Ou seja, os insetos observados em movimento e parados foram, na maioria das vezes, os mesmos.

Como o esperado, a atividade de maior intensidade foi realizada pelos soldados, que se movimentavam para todos os lados de maneira acelerada. Os soldados circundavam o recipiente de teste aparentemente em busca de uma saída. Em paralelo a isso, eles mantinham os outros indivíduos em atividade impedindo-os

de ficarem em estado de repouso. Os soldados estimulavam os operários, que permaneciam parados por certo tempo, a se movimentarem. Isto ocorria através de toque com a cabeça e patas ao longo do corpo do operário em repouso. Devido a forte influência dos soldados sobre os operários, foi considerado que eles poderiam estar afetando os resultados do comportamento dos operários. Deste modo, os soldados foram isolados para que se pudesse observar os efeitos desta hipótese. Após a retirada dos soldados do recipiente de teste o comportamento dos operários permaneceu mais constante e as movimentações passaram a ser com menor intensidade (lenta e moderada). O primeiro reflexo da retirada dos soldados foi uma brusca queda na atividade observada, sendo que a mesma manteve-se constante por um período de aproximadamente uma hora e meia. O aumento na atividade observado posteriormente a este período de repouso se deu de forma gradual e lenta e, mesmo com alterações mais repentinas (Figuras 17 e 18), a movimentação dos insetos remanescentes era mais letárgica e casual.

Em resumo, segundo as observações realizadas para as condições do teste, se percebeu que os cupins apresentaram como forma de comportamento normal um estado de repouso para a grande maioria dos indivíduos (75%), e um estado ativo para uma menor parcela, sendo que a presença de soldados afetou de maneira a estimular uma atividade mais acelerada e algumas vezes desordenada. Ressalta-se ainda que o deslocamento (relativo à posição) e a movimentação (relativo a reações adversas) destes insetos foram predominantemente lentos e seu estado mais freqüente foi o de repouso, conforme pode ser visto na Figura 19.

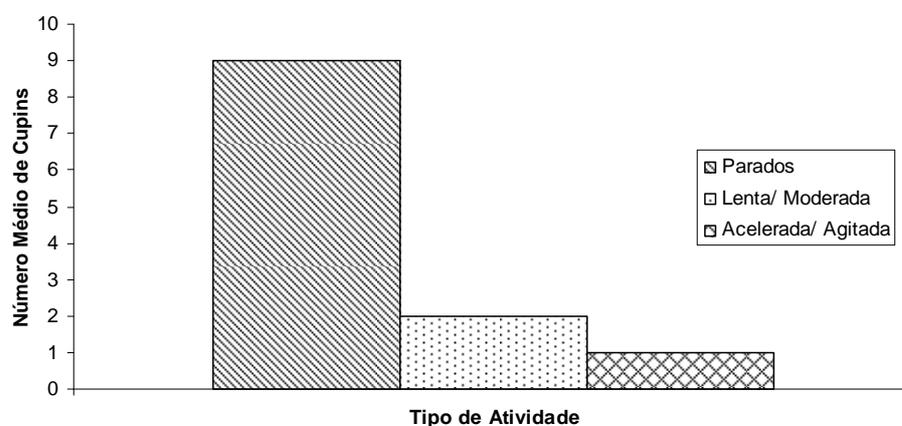


Figura 19 – Distribuição de freqüência da caracterização do comportamento natural dos cupins do gênero *Cryptotermes* sp. em função do número de observações ao longo de 24 horas

4.2 TESTE DE SENSIBILIDADE ÀS FREQUÊNCIAS

De acordo com a escala de sensibilidade (Quadro 3) considerada, 79% das frequências sonoras usadas não apresentaram resultados significativos (Anexo II) quanto à alteração do comportamento padrão dos insetos (Tabela 2). Estes 23 tratamentos constituíram uma faixa bem definida de frequência, distribuídas no intervalo de 800 a 3000 Hz, a qual os cupins não foram influenciados e não sofreram danos, nível 0 de sensibilidade. Deste modo, esta faixa de frequência foi desconsiderada para a continuidade dos testes subseqüentes.

Tabela 2 – Classificação do número de tratamentos por nível de sensibilidade – Teste de sensibilidade para cupins do gênero *Cryptotermes sp.*

Nível de Sensibilidade	Número de Tratamentos	%
0	23	79
1	1	3
2	1	3
3	1	3
4	1	3
5	2	7
Total	29	100

Para melhor compreensão dos resultados, os tratamentos foram divididos em três grupos, de acordo com seu nível de sensibilidade. Os grupos formados foram os de baixa sensibilidade, média sensibilidade e alta sensibilidade. O primeiro foi formado por tratamentos que obtiveram níveis um e dois, na escala de sensibilidade. O segundo grupo foi formado por tratamentos classificados como tendo nível três de sensibilidade e, o último grupo, foi formado por tratamentos que apresentaram nível quatro e cinco na escala adotada.

4.2.1 Tratamentos de Baixa Sensibilidade

Os tratamentos classificados como tendo baixo nível de sensibilidade foram aqueles que alcançaram os níveis um e dois na escala de considerada (Quadro 3). Como pode ser visto na Tabela 3, apenas dois tratamentos foram classificados como de baixa sensibilidade e, ambos os tratamentos, apresentaram uma característica semelhante de efeitos sobre os insetos. As duas frequências testadas geraram um estado de letargia com menor e maior intensidade, como descrito a seguir.

Tabela 3 – Frequências de tratamentos que apresentaram baixo nível de sensibilidade no Teste de sensibilidade para cupins do gênero *Cryptotermes sp.*

Identificação dos Tratamentos	Frequência (Hz)	Amplitude	Nível de Sensibilidade	Efeito Associado
3	400	50	1	Letargia
4	500	50	2	Letargia

O som com frequência de 400 Hz e amplitude 50 foi classificado com nível de sensibilidade um, o que significa dizer que há a necessidade de alterações em sua estrutura para que ele venha a causar um melhor resultado em termos de alteração comportamental.

As principais reações causadas por este tratamento estão relacionadas à letargia. Ou seja, os cupins testados apresentaram um comportamento mais apático e menores reações a estímulos. Mesmo quando se deslocavam isso era realizado com movimentos vagarosos de patas e antenas. Ao final do teste constatou-se que os mesmos estavam completamente imóveis (Figura 20).

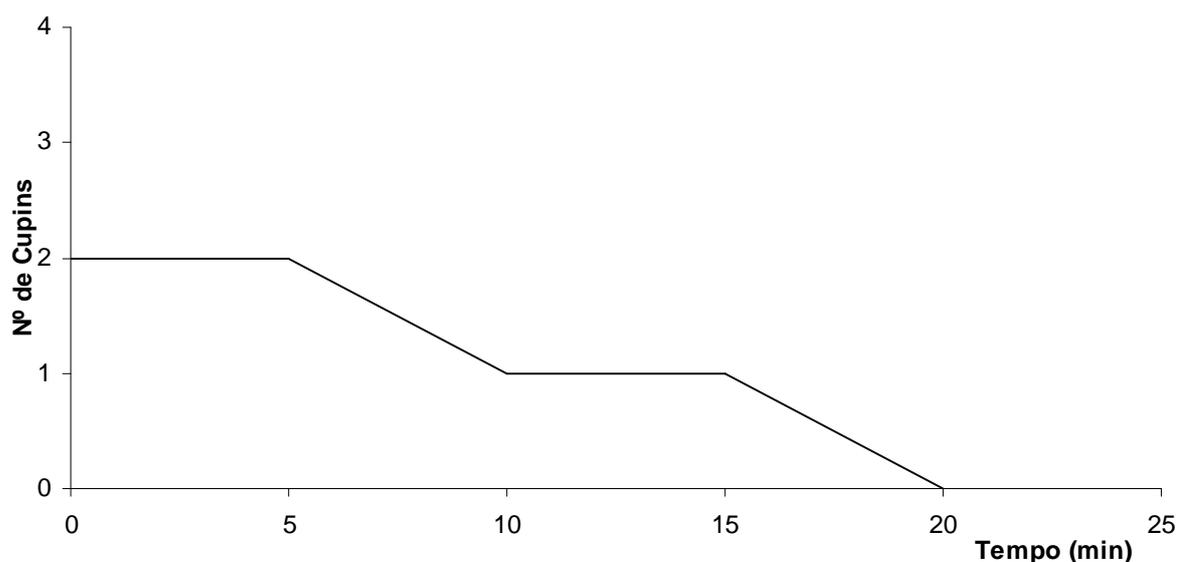


Figura 20 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes sp.*) em função do tempo para o tratamento 3 (400 Hz e amplitude 50)

Para o nível de sensibilidade dois foi identificada a freqüência que correspondia a 500 Hz e amplitude 50. Para esta freqüência de estímulo foi observado que o estado de letargia foi mais intenso do que no tratamento anterior. No tempo de dez minutos foi constatado que todos os insetos expostos estavam imóveis, sendo que não havia movimento nem mesmo de patas e antenas (Figura 21). Comparando-se o comportamento observado no teste de caracterização do comportamento dos cupins e dos insetos submetidos a esta freqüência, percebeu-se que a movimentação ocorrida foi muito diferente. As submetidas ao primeiro teste, mesmo paradas na maioria do tempo, mantinham um comportamento ativo, entretanto os submetidos a este tratamento permaneciam deitados, sem o apoio das patas, e comportavam-se como se houvesse um peso sobre seus corpos.

Após o término da exposição ao tratamento os cupins foram voltando ao seu estado normal com o passar do tempo e, segundo a fase de observação, levaram 25 minutos, em média, para começarem a apresentar o comportamento padrão definido pelo primeiro teste.

Deste modo, esta freqüência foi considerada para a composição dos próximos tratamentos.

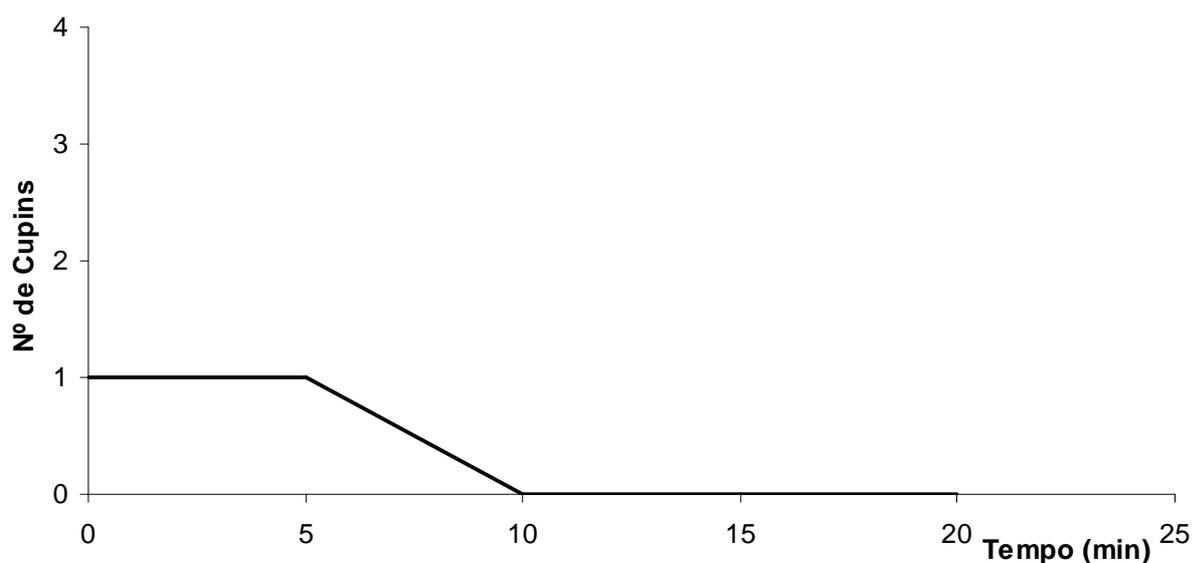


Figura 21 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes sp.*) em função do tempo para o tratamento 4 (500 Hz e amplitude 50)

4.2.2 Tratamentos de Média Sensibilidade

Para o teste de sensibilidade às freqüências apenas um tratamento foi classificado como tendo um nível médio de sensibilidade (Tabela 4). Este tratamento alcançou o nível três na escala considerada (Quadro 3) e afetou de forma contrária aos tratamentos anteriormente citados. Ou seja, fez com que os insetos ficassem inquietos durante o tempo de exposição (Figura 22).

Tabela 4 – Freqüência de tratamento que apresentou nível médio de sensibilidade para o Teste de sensibilidade para cupins do gênero *Cryptotermes sp.*

Identificação dos Tratamentos	Freqüência (Hz)	Amplitude	Nível de Sensibilidade	Efeito Associado
1	200	50	3	Agitação

De acordo com as observações visuais o comportamento dos insetos expostos foi de elevada agitação, mesmo quando os mesmos estavam parados (relativo à posição). Estes se mantinham em constante movimentação de patas e antenas e, por vezes, giravam o corpo em torno do próprio eixo sem sair do lugar. O fato de não haver muito deslocamento, explica a tendência da Figura 22 de que com

o passar do tempo o nível de atividade dos insetos diminuía, entretanto a agitação se mantinha constante.

Após o tratamento os insetos voltaram a apresentar um comportamento considerado normal, dentro dos padrões estabelecidos pelo primeiro teste. A frequência utilizada neste tratamento, portanto, também foi considerada para os próximos testes.

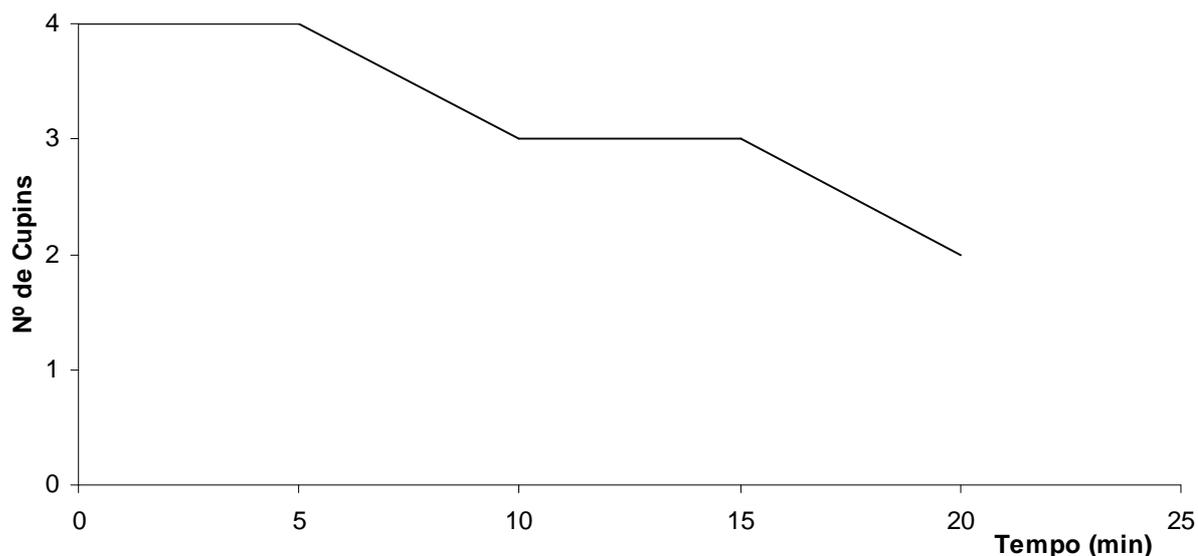


Figura 22 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes sp.*) em função do tempo para o tratamento 1 (200 Hz e amplitude 50)

4.2.3 Tratamentos de Alta Sensibilidade

Os tratamentos classificados como tendo alto nível de sensibilidade foram aqueles que alcançaram os níveis quatro e cinco na escala de considerada (Quadro 3). Como podem ser visto na Tabela 5, três tratamentos foram classificados como de alta sensibilidade, sendo que dois destes apresentaram um efeito associado à letargia e o outro a uma agitação associada a uma taxia negativa.

Tabela 5 – Freqüências sonoras de tratamentos que apresentaram alto nível de sensibilidade aos cupins do gênero *Cryptotermes sp.* para o teste de sensibilidade às freqüências

Identificação dos Tratamentos	Freqüência (Hz)	Amplitude	Nível de Sensibilidade	Efeito Associado
2	300	50	5	Agitação
5	600	50	4	Letargia
6	700	50	5	Letargia

O tratamento com características de freqüência 600 Hz e amplitude 50, apresentou um nível de sensibilidade quatro e seus efeitos associados estão relacionados à letargia (Figura 23). Antes do início do teste todos os cupins encontravam-se parados e, no momento em que se iniciou a exposição à freqüência sonora, dois deles começaram a se movimentar imediatamente. Aos 5 minutos de observação, todos os insetos encontravam-se parados. Aos 10 minutos todos se mantinham em repouso, entretanto três deles estavam com a cabeça voltada em direção à fonte sonora. Logo depois, aos 15 minutos, os três cupins mantinham suas posições e o outro andava em direção a fonte sonora. Esta situação se manteve até os 20 minutos, entretanto o que estava andando, na observação anterior, passou a escalar a parede de tule do recipiente de teste mais próxima da fonte.

Após o período de exposição os cupins voltaram a apresentar um comportamento considerado normal. Este tempo, segundo as observações, foi em média de 10 minutos.

Para este tratamento foi observado o fenômeno de taxia positiva, significando que os cupins foram atraídos pelo som gerado na fonte. Deste modo, esta freqüência sonora apresentou um maior potencial de desenvolvimento, inclusive para a concepção de tratamentos com freqüências senoidais puras.

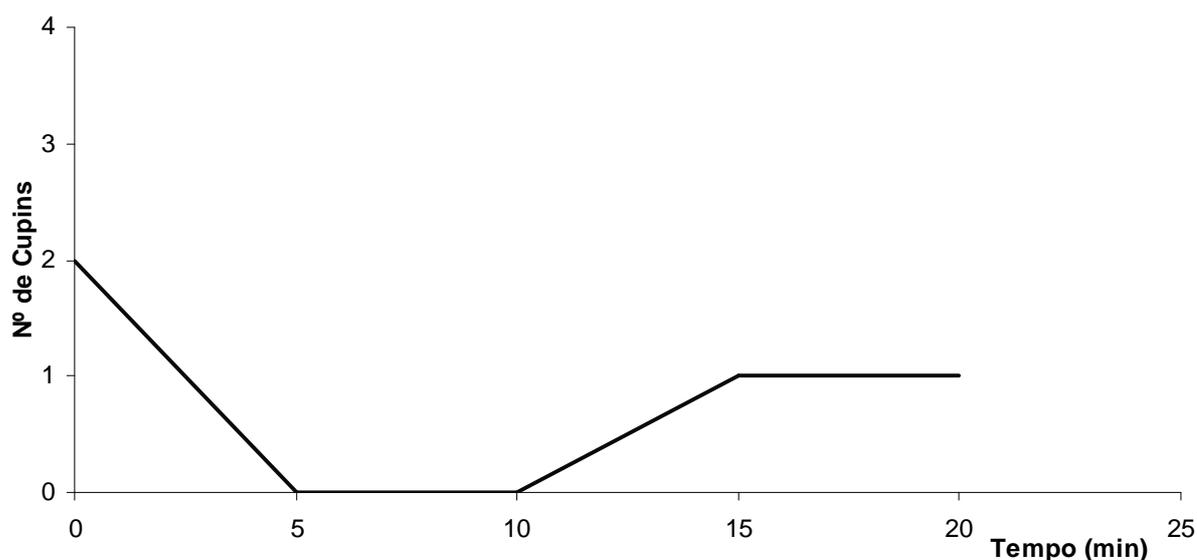


Figura 23 – Atividade dos cupins (*Cryptoterme sp.*) em função do tempo para o tratamento 5 (600 Hz e amplitude 50)

Dos tratamentos testados, apenas dois foram classificados como 5 na escala de sensibilidade adotada, sendo eles os tratamentos 2 e 6 (Tabela 5). Para o primeiro, foi observado que todos os insetos, antes parados, iniciaram uma leve movimentação imediatamente após o início da exposição ao som. Ao passar do tempo, percebeu-se que os insetos se comportavam de maneira inquieta e tentavam se esconder do som, ficando atrás das hastes do recipiente e/ou tentando ir para baixo do papel umedecido. Aparentemente a variação de pressão causada por este tratamento causou um efeito de taxia negativa, ou seja, afetou de forma a repelir os insetos devido a um desconforto gerado. Em todas as observações realizadas os insetos buscavam se afastar da fonte e, embora muito agitados, se deslocavam de forma moderada. Um dos insetos testados se posicionou embaixo do papel úmido, passando a apresentar um comportamento menos agitado. Isso ocorreu possivelmente devido ao fato do papel umedecido absorver parte da frequência do som, entretanto ele ainda buscava uma forma de se afastar ao máximo da fonte. De acordo com as observações, os cupins, impossibilitados de se afastarem o suficiente, agrupavam-se permanecendo bem próximos uns dos outros tentando minimizar os efeitos externos da variação de pressão e densidade desencadeadas pelo tratamento. Isto devido ao fato de ficarem com seus corpos encostados um no outro, deste modo mantendo parte de seus mecanorreceptores mais protegidos

contra as variações de pressão do meio (alteração do posicionamento dos pêlos táteis e sensilas).

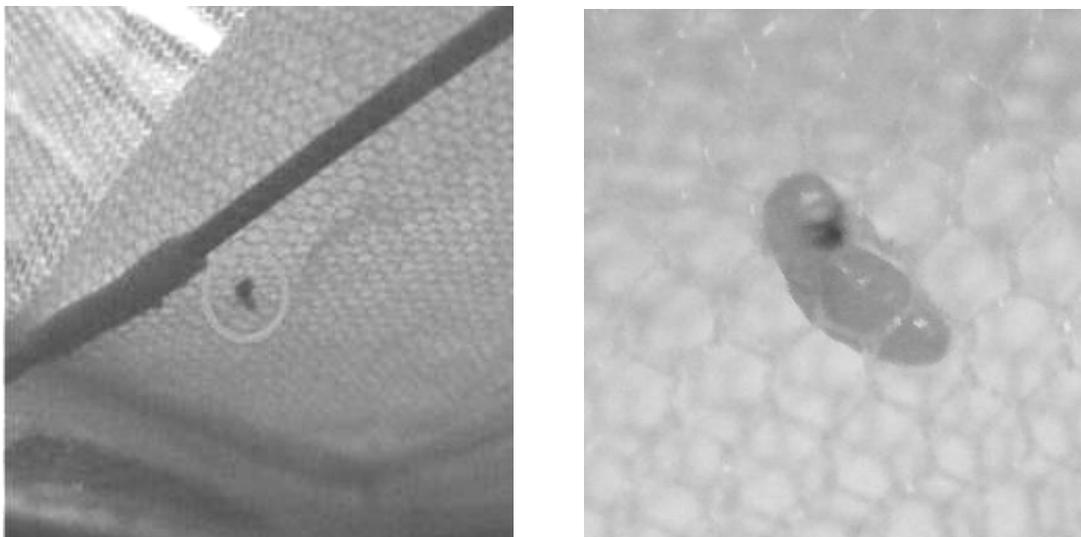


Figura 24 – À esquerda - cupim posicionado embaixo do papel umedecido, deixando o papel entre si e a fonte sonora; À direita – foto tirada com um aumento de três vezes

Para este tratamento o tempo médio que os cupins levaram para retornar ao comportamento padrão foi de 1 hora meia. Mesmo após este tempo, os insetos apresentavam reações demonstrando que a frequência utilizada havia produzido danos mais permanentes. Uma delas foi a total falta de mobilidade, ao ponto do cupim ficar caído de lado ou com as patas viradas para cima como se estivesse morto (Figura 25).

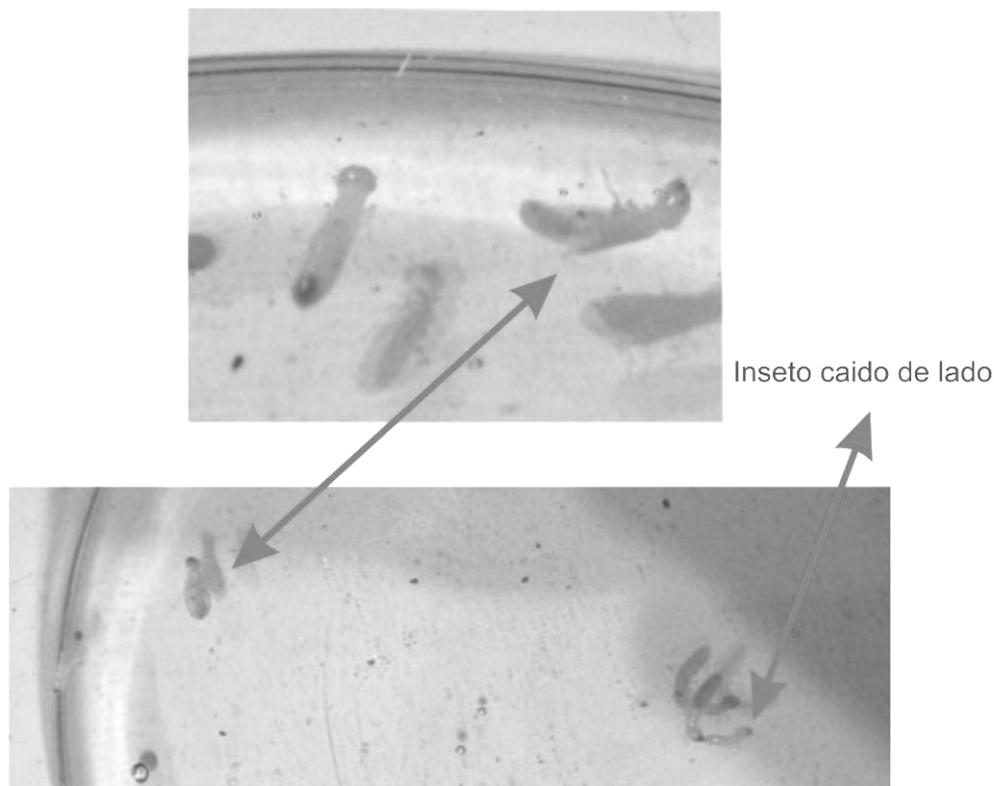


Figura 25 – Cupins expostos ao tratamento 2, após 1 hora e 30 minutos de observação

Para o tratamento, identificado como seis (Tabela 5), o efeito associado também foi à letargia, como na maioria dos casos anteriores. Entretanto a variação de pressão e densidade geradas por este tratamento foi capaz de fazer os cupins expressarem reações distintas aos demais. Em algumas observações realizadas os insetos permaneciam com os corpos juntos e com a cabeça em cima do abdome uns dos outros, sendo que por vezes a cabeça era movimentada ao longo do corpo do outro cupim, aparentemente para alterar o posicionamento das sensilas responsáveis pela percepção das variações citadas. Em alguns momentos também, os cupins elevavam a cabeça e mantinham essa posição por aproximadamente dez segundos. Após a exposição ao tratamento, os insetos não voltaram a apresentar o comportamento padrão, significando dizer que esta frequência causou danos mais significativos a sua estrutura. Após três horas de observações, a partir do término da exposição, constatou-se que um dos cupins estava morto. Passadas mais seis horas, os outros indivíduos continuavam vivos, entretanto mantinham o estado de letargia, que foi constante durante o teste, agindo como se houvesse algum peso em cima de seus corpos.

Levando em consideração os efeitos observados para os tratamentos dois e seis, os mesmos foram considerados para a realização dos testes subseqüentes tornando-se, inclusive, as freqüências de base para os novos tratamentos.

Na realização dos testes de sensibilidade às freqüências percebeu-se, para os cupins e dentro da faixa de freqüência adotada, que quanto maior a freqüência menor foi a interação entre o som e os cupins. Da mesma forma, constatou-se que quanto menor a freqüência utilizada maior foi o efeito de letargia causado sobre os mesmos, sendo que em poucos casos pode haver um estímulo que leve a agitação e inquietude.

O sistema para medir o impacto gerado pelas ondas sonoras sobre as obras de arte não foi capaz de apresentar variação entre o estado de repouso e o de tratamento. Isto devido ao fato de que a intensidade das ondas sonoras utilizada não conseguiu gerar força de pressão suficiente para mover a folha de papel vegetal dentro da escala de medida utilizada (milímetros). Isto significa dizer que a força de impacto gerada pelos tratamentos propostos teve um valor inferior a 0,01 N, que, simplificando, pode ser entendido como um peso equivalente a 1 g (Anexo IV). Deste modo, pode-se concluir que a força imposta pelos tratamentos sobre a superfície das obras de arte, mesmo fragilizadas, tornou-se desprezível.

4.3 TESTE DOS “30-30”

Neste teste foram observadas as influências mais imediatas sobre os cupins. Deste modo, as freqüências sonoras que possuem uma capacidade de interação de curto prazo, devido a alterações abruptas de pressão e densidade no meio, se sobressaíram, divergindo do resultado obtido no teste de sensibilidade às freqüências.

4.3.1 Primeira Etapa – Exposição a Uma Única Freqüência

Como se pode observar na Tabela 6, aproximadamente 12% dos tratamentos testados apresentaram algum tipo de resultado e, dentre eles três apresentaram efeitos coincidentes com o teste de sensibilidade às freqüências. Estes efeitos coincidentes significam que apresentaram associação de comportamento letárgico

ou de agitação em ambos os testes, mas não necessariamente com o mesmo nível de intensidade (Tabela 7).

Tabela 6 – Classificação do número de tratamentos por nível de sensibilidade – Teste dos “30-30” para cupins (*Cryptotermes sp.*)

Nível de Sensibilidade	Número de Tratamentos	%
0	25	86,20
1	0	0
2	1	3,45
3	1	3,45
4	1	3,45
5	1	3,45
Total	29	100

Tabela 7 – Freqüências de tratamento e níveis de sensibilidade para os tratamentos que apresentaram o mesmo efeito nos testes de sensibilidade e dos “30-30”

Identificação dos Tratamentos	Freqüência (Hz)	Efeito Associado	Nível de Sensibilidade no Teste de Sensibilidade	Nível de Sensibilidade no Teste dos “30-30”
2	300	Agitação	5	5
5	600	Letargia	4	4
6	700	Letargia	5	3

4.3.1.1 Tratamentos de baixa sensibilidade

O teste dos “30-30” apresentou apenas um tratamento classificado como tendo baixo nível de sensibilidade (Tabela 8). A freqüência sonora de 1300 Hz e amplitude 50, atingiu o nível dois na escala de sensibilidade, demonstrando que os danos causados por esta freqüência são de impactos mais imediatos e de efeitos não duradouros, pois no teste anterior, a mesma freqüência não causou alterações relevantes.

Tabela 8 – Freqüência sonora de tratamento que apresentou baixo nível de sensibilidade aos cupins do gênero *Cryptotermes sp.* para o teste dos “30-30”

Identificação dos Tratamentos	Freqüência (Hz)	Amplitude	Nível de Sensibilidade	Efeito Associado
12	1300	50	2	Agitação

Neste teste, imediatamente após o início da exposição ao tratamento (primeiros 30 segundos), ocorreram alterações no ambiente (pressão) que deixavam os insetos levemente agitados por um período curto de tempo, de aproximadamente 15 segundos (Figura 26). Este fenômeno de desconforto e agitação foi aumentado na segunda parte do teste (próximos 30 segundos) e os insetos mantiveram-se em estado de agitação intensa por aproximadamente 10 segundos. Após os períodos de tempo mencionados, 15 e 10 segundos, os insetos voltaram ao comportamento padrão que apresentavam no início do teste. Isto significa dizer que a freqüência deste tratamento influenciou o comportamento dos cupins até o momento em que, ou eles se acostumaram com a freqüência na qual estavam sendo expostos, ou a pressão e densidade do meio se normalizou, desta forma fazendo com que os insetos voltassem a apresentar o comportamento padrão que possuíam antes do início do teste.

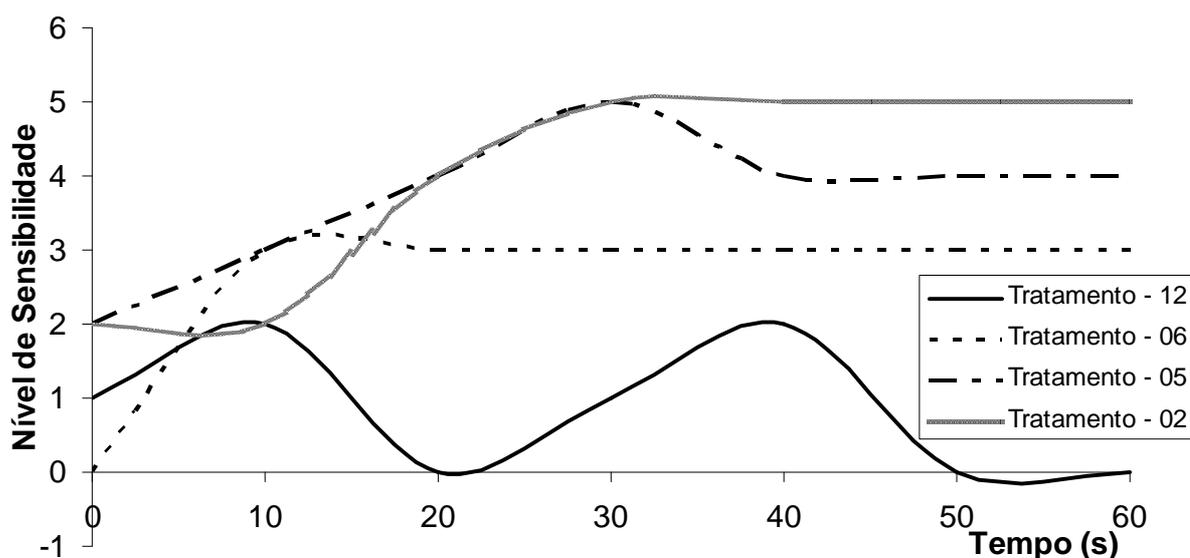


Figura 26 – Curva do nível de sensibilidade ao longo do tempo, por tratamento, no teste dos “30-30” para os cupins (*Cryptotermes sp.*)

4.3.1.2 Tratamentos de média sensibilidade

Apenas um tratamento foi classificado como tendo um nível médio de sensibilidade (Tabela 9) para o Teste dos “30-30”. Este tratamento foi identificado como seis (frequência 700 Hz e amplitude 50) e anteriormente apresentou um valor de sensibilidade cinco. Neste teste o referido tratamento foi classificado como nível três de sensibilidade, tendo os mesmos efeitos associados aos insetos (Tabela 7).

Tabela 9 – Frequência de tratamento que apresentou nível médio de sensibilidade para o Teste dos “30-30” para cupins do gênero *Cryptotermes sp.*

Identificação dos Tratamentos	Frequência (Hz)	Amplitude	Nível de Sensibilidade	Efeito Associado
6	700	50	3	Letargia

Após o início do teste os cupins começaram a apresentar um leve estado de letargia que foi aumentando ao passar do tempo. Segundo as observações visuais, os insetos movimentaram-se de forma muito lenta de maneira a se afastar da fonte sonora até que pararam, assim permanecendo até o fim do teste (Figura 26). Com base nisso, pode-se dizer que esta frequência de tratamento causou reações aos cupins testados a um curto e longo tempo de exposição, sendo o seu efeito aumentado quanto maior o tempo de exposição. Diz-se que os insetos apresentam reações a curto período, se baseado nos resultados obtidos no teste dos “30-30” e, reações crescentes num longo período, devido ao fato dos cupins terem apresentado um maior nível de sensibilidade no teste de sensibilidade às frequências (Tabela 7).

A variação de força do som neste tratamento intensificou os efeitos que já estavam sendo observados, o que permite dizer que a intensidade dos efeitos está associada à força do som. Isto é fácil de visualizar devido ao fato de que quanto maior a força, maior será a variação de pressão e densidade e, como consequência direta, maior serão os estímulos nas sensilas dos cupins que desencadeiam processos fisiológicos (sobrecarga de informações nos sistemas nervoso central e

periférico, através da ativação dos neurotransmissores dos mecanorreceptores) que dão origem aos efeitos comportamentais observados.

4.3.1.3 Tratamentos de alta sensibilidade

Os tratamentos classificados como tendo alto nível de sensibilidade foram aqueles que alcançaram os níveis quatro e cinco na escala de considerada (Quadro 3). Como pode ser visto na Tabela 10, dois tratamentos foram classificados como de alta sensibilidade, sendo que um deles causou um estado de agitação e o outro de letargia. Entretanto, ambos apresentaram um efeito associado semelhante ao teste de sensibilidade às frequências (Tabela 7).

Tabela 10 – Frequência de tratamento que apresentou alto nível de sensibilidade para o Teste dos “30-30” para cupins do gênero *Cryptotermes sp.*

Identificação dos Tratamentos	Frequência (Hz)	Amplitude	Nível de Sensibilidade	Efeito Associado
2	300	50	5	Agitação
5	600	50	4	Letargia

O tratamento 5, de frequência 600 Hz e amplitude 50, apresentou um alto nível de sensibilidade (4) tanto no teste de sensibilidade às frequências como no teste dos “30-30”. Isto significa dizer que o tratamento em questão apresentou variações no meio que geraram distúrbios nos cupins de maneira rápida e duradoura. Instantes após o início do teste, um dos insetos iniciou uma movimentação lenta em direção à fonte sonora e os outros três continuaram parados. Entretanto, dois destes viraram a cabeça em direção à fonte sonora passados poucos segundos (aproximadamente 15). O outro cupim se movimentou apenas aos 35 segundos de exposição, ou seja, cinco segundos após a alteração de força.

Na segunda parte do teste, no período de tempo em que a força do som foi aumentada, os efeitos de taxia positiva e letargia se apresentaram mais intensos, sendo que o aumento da força foi sentido pelos insetos de forma visivelmente abrupta, como se os mesmos tivessem recebido uma carga repentina em seus

corpos. Deste modo, segundo as observações visuais, esta freqüência de tratamento apresentou fortes influências sobre o comportamento dos cupins (Figura 26) e estas foram potencializadas com o aumento da força do som emitido pela fonte.

A freqüência sonora que melhor apresentou resultados neste teste foi a de 300 Hz e amplitude 50, mantendo o valor de sensibilidade observado anteriormente (5). Da mesma forma que no teste de sensibilidade, este tratamento fez os insetos apresentarem um comportamento de taxia negativa associado a uma intensa agitação de movimentos corpóreos, mas mantendo uma movimentação de locomoção moderada.

Na primeira parte do teste os efeitos sobre os cupins foram observados como crescentes e de forma gradual, ou seja, eles perceberam a variação de pressão e densidade no meio e o desconforto sentido por eles foi aumentando progressivamente até que começaram a apresentar as características citadas na maior intensidade observada. Coincidentemente, o tempo necessário para causar o máximo desconforto foi de 30 segundos, sendo que deste ponto em diante a força do som foi aumentada de maneira a reforçar o estado de taxia negativa observado. Deste modo, pode-se dizer que este tratamento apresentou características que causam efeitos sobre o sistema nervoso central dos insetos em curto período de atuação e estes efeitos permaneceram e se agravaram com o passar do tempo, assim gerando um estado contínuo de letargia e distúrbio de equilíbrio durante a aplicação do som. Estes efeitos sobre o sistema nervoso central iniciam-se na alteração mecânica do posicionamento das sensilas dos cupins, que provocam a despolarização de suas células e geram um impulso elétrico, emitido pelos neurônios, que leva ao sistema nervoso central e/ou periférico a informação de que existe uma dada força atuando sobre si. Em paralelo, outras informações, referentes à sua espacialidade, de natureza semelhante (mecânicas) são enviadas aos sistemas do inseto ocasionando uma sobrecarga de informações, estresse, que faz o cupim afetado “confundir” suas origens, deste modo, fazendo-o perder a noção de espacialidade e equilíbrio, tendo como resultado associado disfunções em suas atividades motoras. Da mesma forma, o aumento da força do tratamento potencializou os efeitos associados, provavelmente devido ao fato da variação de pressão ser mais brusca do que em níveis menores.

As observações realizadas nos cupins após as exposições não apresentaram diferenças do teste de comportamento natural dos cupins (comportamento padrão). Apenas nos tratamentos cinco e dois os insetos levaram aproximadamente um minuto para recuperar o estado de comportamento dito como padrão. Isso significa dizer que para o tempo de um minuto de exposição às frequências testadas não resultou em efeitos duradouros ou mesmo a morte dos cupins. Entretanto o resultado obtido, com base nos diferentes distúrbios gerados, possibilitou a criação de sons com diferentes intensidades e frequências associadas que apresentaram resultados satisfatórios.

4.3.2 Segunda Etapa - Exposição a Todas as Frequências

A segunda etapa de execução deste teste consistiu em expor uma única amostra a todos os tratamentos construídos. Os resultados individuais de cada tratamento foram os mesmos, ou seja, as frequências que causavam letargia, agitação e taxias, mantiveram estes resultados enquanto estavam sendo impostas aos cupins. Entretanto, o melhor resultado foi observado ao final do teste, onde um dos cupins estava morto e outro veio a morrer em menos de uma hora após o término do ensaio. Nas fases de observação posteriores ao teste, constatou-se que os cupins que permaneceram vivos apresentaram comportamento diferente do padrão estabelecido no primeiro teste. Os cupins em questão permaneceram imóveis por um período de três horas, e iniciaram uma movimentação lenta e casual após este tempo. No período subsequente de tempo os cupins apresentaram-se letárgicos e moviam-se, aparentemente, desorientados e, após um período total de dez horas outro cupim havia morrido.

Estes resultados reforçam a hipótese de que sons construídos com diferentes frequências e intensidades causam reações e respostas que podem inibir o ataque de cupins em obras de arte ou peças de madeira.

4.4 Teste de Eficiência

De acordo com as observações realizadas, verificou-se que 50% dos tratamentos testados tiveram um nível de sensibilidade quatro e os outros 50%

tiveram um nível de sensibilidade cinco (Tabela 11), segundo a escala de sensibilidade adotada. Apenas um dos tratamentos (300-700 Hz com quatro cristas) não apresentou morte de cupins durante o período de exposição e/ou no período de pós-tratamento. Isto significa dizer que o arranjo de freqüências realizado potencializou os efeitos associados de variação de pressão e densidade, gerados pelo som, sobre os insetos testados.

Tabela 11 – Classificação do número de tratamentos por nível de sensibilidade – Teste de eficiência para os cupins do gênero *Cryptotermes sp.*

Nível de Sensibilidade	Número de Tratamentos	%
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	3	50
5	3	50
Total	6	100

4.4.1 Tratamentos Classificados com Nível Quatro de Sensibilidade

Os sons que obtiveram um nível de sensibilidade quatro foram os três primeiros construídos, sendo as freqüências de 300-700 Hz com quatro cristas, a de 300-700 Hz com dez cristas e a de 300-700-500 Hz com dez cristas (Tabela 12).

Tabela 12 – Características das freqüências sonoras que apresentaram nível quatro de sensibilidade para o Teste de eficiência

Identificação dos Tratamentos	Freqüência (Hz)	Amplitude	Elemento de Repetição	Nível de Sensibilidade
30	300-700	50	4 cristas	4
31	300-700	50	10 cristas	4
32	300-500-700	50	10 cristas	4

Para o primeiro som testado (300-700 Hz com quatro cristas), percebeu-se uma forte influência das frequências sobre o comportamento dos cupins, observado através de uma taxia positiva intensa e constante ao longo do tempo de exposição. Antes do início do teste, três dos cupins se moviam de forma moderada e o outro permanecia no mesmo local com pouca movimentação corporal. Após alguns instantes do início do teste, os três primeiros cupins foram agitados em direção à fonte sonora, parando em frente ao tule, o mais próximo possível da fonte sonora que o recipiente permitia (Figura 27). O outro cupim movimentou-se em direção à fonte, mas parou poucos centímetros depois de sua posição inicial. Os quatro cupins permaneceram com a cabeça voltada para a fonte sonora, aparentemente como se estivessem sendo atraídos por ela.

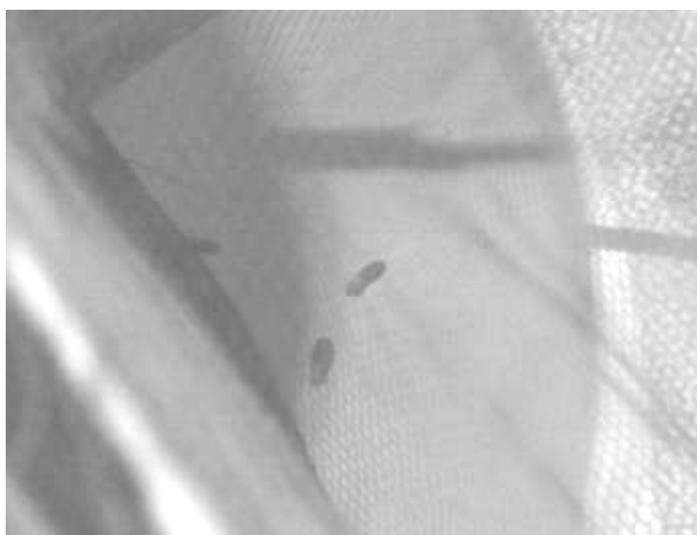


Figura 27 – Os cupins (*Cryptotermes sp.*) perto da face do recipiente mais próxima da fonte sonora no início do teste de eficiência do tratamento 30 (frequências 300-700 Hz com quatro cristas)

Após cinco minutos de exposição, dois dos três primeiros cupins permaneciam imóveis e com a cabeça voltada para a fonte sonora, entretanto um deles estava do lado de fora do tule, ou seja, fora do recipiente de teste. O cupim conseguiu sair do recipiente através de um alargamento feito por ele mesmo ao forçar a passagem por uma das aberturas do tecido. Os cupins não alteraram seu comportamento durante todo o teste, permanecendo parados e com pouca movimentação de seus membros do início ao fim do tempo de exposição. Os outros dois cupins apresentavam-se em movimentação moderada, sendo que um deles aparentemente andava sem orientação definida, possivelmente devido à variação de

pressão e densidade do meio alterarem sua noção de espaço. Com o passar do tempo de exposição este último inseto, gradativamente, diminuiu seu ritmo de atividade até chegar a um estado de extrema letargia. Sua movimentação, a partir dos 15 minutos de exposição, passou a ser desordenada e diferente do padrão. Primeiramente o referido cupim começou a girar em torno do próprio eixo (movimentação em círculos) e posteriormente passou a cambalear de um lado para outro, não conseguindo se movimentar em linha reta. Este cupim cessou sua movimentação aos 40 minutos de exposição, permanecendo imóvel até o término do tratamento. O outro cupim que estava em movimento também apresentou disfunções motoras relacionadas ao deslocamento, sendo estas uma desorientação que o fez se movimentar em pequenos círculos, de forma moderada, e girar em torno do próprio eixo até que, aos 20 minutos de exposição ao tratamento, o cupim parou e permaneceu imóvel até o fim do teste.

Ao final do teste os quatro cupins encontravam-se parados (Figura 28) e com efeitos associados à letargia. Entretanto, após aproximadamente 30 minutos do fim do teste os mesmos já apresentavam seu comportamento natural, não sendo verificado nenhum tipo de dano permanente.

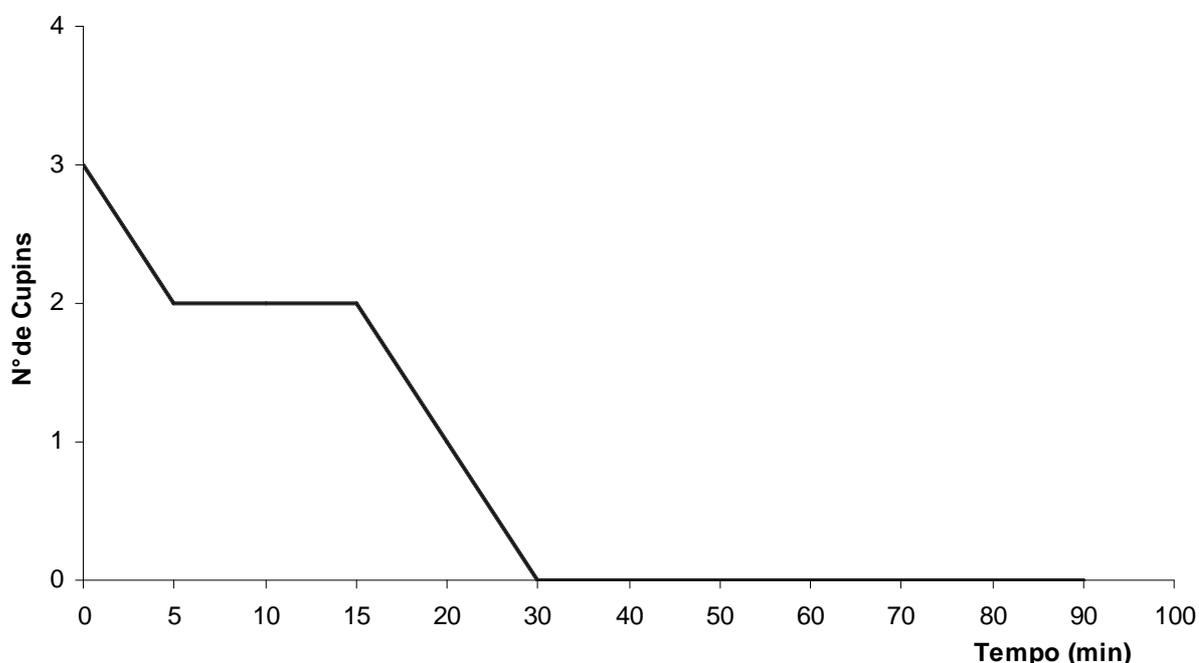


Figura 28 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes* sp.) em função do tempo para o tratamento 30 (300/700 Hz com quatro cristas)

No teste de eficiência na madeira, para o mesmo tratamento, os cupins apresentaram-se inquietos no início do teste, mesmo dentro das aberturas na madeira. Após aproximadamente quatro minutos de exposição três cupins saíram das aberturas e lentamente foram se aproximando da fonte sonora. Passados cerca de cinco minutos, dois destes três cupins começaram a se movimentar moderadamente para frente e para trás de forma desordenada (Figura 29).



FIGURA 29 – Instante no qual os cupins começaram a apresentar desorientação no teste de eficiência na madeira para o tratamento 30, após nove minutos de exposição

No tempo de 20 minutos foi percebido que apenas dois cupins permaneciam nas aberturas da madeira, um em cada uma, e que estes se mantinham num estado totalmente imóvel (Figura 30). Os outros quatro cupins permaneciam em movimentação moderada constante, mas sem sair do perímetro da madeira. A movimentação destes quatro insetos ocorria principalmente nas bordas da peça de madeira (Figura 31) próxima à fonte sonora, e eventualmente os cupins desciam pela lateral da peça e retornavam a primeira superfície.

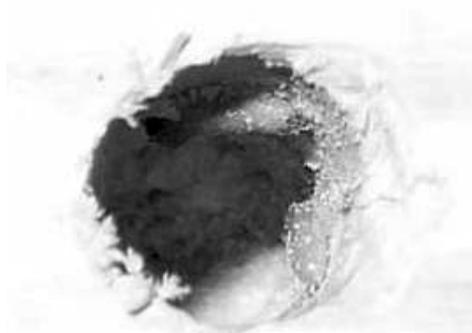


FIGURA 30 – Cupim totalmente imóvel dentro de uma das aberturas da madeira, após 20 minutos de exposição, para o tratamento 30

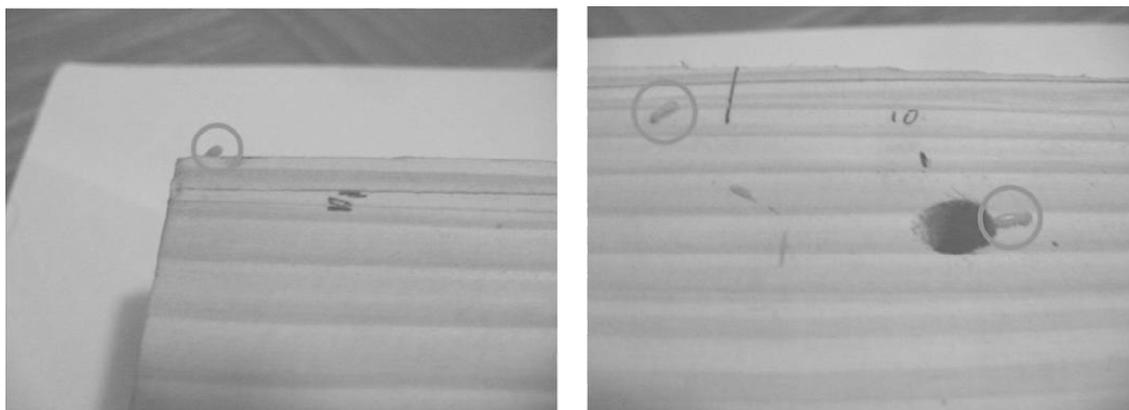


FIGURA 31 – Movimentação dos insetos no teste de eficiência na madeira para o tratamento 30

Segundo as observações realizadas, percebeu-se que o nível de sensibilidade de efeito do som sobre os cupins que permaneciam dentro da madeira foi maior do que sobre os cupins que estavam na superfície. Isto devido ao fato da abertura na madeira (em forma de tubo) funcionar como um pequeno amplificador, que aumentava a força do som para os que estavam dentro da abertura.

A explicação para o tipo de comportamento apresentado, sobretudo a desorientação, está no fato de que os mecanorreceptores são os responsáveis pelo equilíbrio, noção de espaço e, conseqüentemente, por sua capacidade de orientação, entre outras funções. Deste modo, um excessivo estímulo em suas sensilas, fez com que houvesse uma sobrecarga de informações no sistema nervoso central e/ou periférico que resultaram no comportamento observado. Isso se justifica pelo fato dos cupins não apresentarem danos permanentes, se recuperando alguns instantes após o término da exposição ao tratamento.

Para os tratamentos nos outros ambientes (ateliê e salas com reverberação) os resultados observados foram semelhantes aos obtidos no estúdio. Os cupins apresentaram um estado de letargia associado a uma taxa positiva. Os níveis de sensibilidade verificados, segundo o Quadro 3, foram os mesmos (4) para os ambientes de estúdio, ateliê e a primeira sala com reverberação (20 m²), sendo apenas diferente no segundo ambiente com reverberação (45 m²) (Tabela 13). Neste último ambiente o nível de sensibilidade observado foi cinco, devido ao fato de os efeitos descritos anteriormente terem sido mais acentuados.

Tabela 13 – Classificação do efeito causado pelo tratamento 30 sobre cupins do gênero *Cryptotermes sp.* segundo os diferentes tipos de ambiente

Ambiente	Número de insetos testados	Efeito do Tratamento			Nível de Sensibilidade
		Letargia	Agitação	Sem efeito	
Estúdio	10	6	4	0	4
Ateliê	4	4	0	0	4
Reverberação I	4	4	0	0	4
Reverberação II	4	3	1	0	5
Total	22	17	5	0	
Média		4,25	1,25		4,25
Desvio Padrão		1,26	1,89		0,5

Foi observado, para o ambiente de reverberação II, que o fenômeno de taxia ocorreu de maneira a fazer com que os cupins fossem para todos os lados de maneira muito agitada, aparentemente de forma não aleatória. Isto ocorreu justamente pelo efeito da reverberação, semelhante ao eco, que criou uma noção de que houvesse mais de uma fonte sonora na sala. Após, aproximadamente dez minutos de exposição os cupins começaram a apresentar forte desorientação, chegando a cair de lado e ficarem com as patas para cima (Figura 32). Já aos 20 minutos de exposição todos os cupins encontravam-se imóveis e assim permaneceram até o fim do teste, sendo necessário cerca de uma hora para que os mesmos voltassem a apresentar o comportamento padrão.

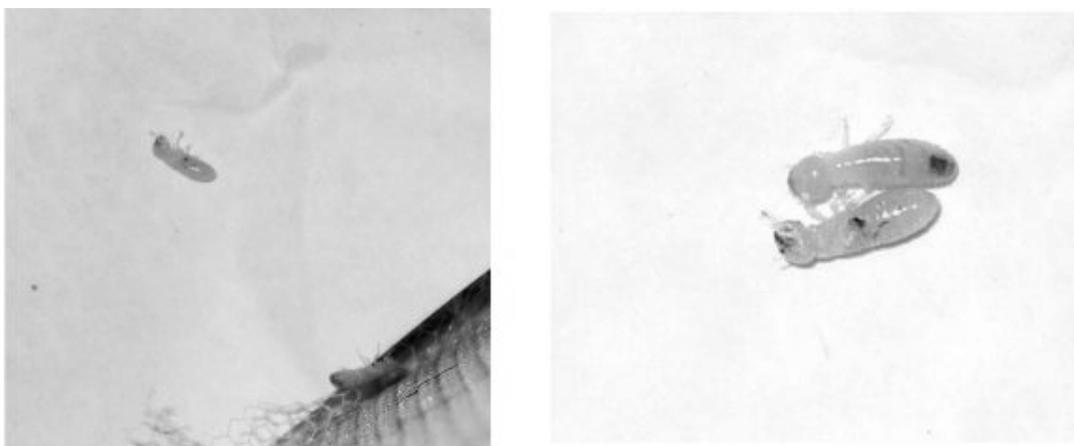


Figura 32 – Cupins do gênero *Cryptotermes sp.*, com as patas para cima no ambiente de reverberação II, para o tratamento 30. À direita foto tirada com aumento de 5 vezes

Os resultados obtidos nos diferentes ambientes não apresentaram diferença estatística, a um nível de significância de cinco por cento, segundo o teste dos sinais (Anexo II – 1). Isso significa dizer que independente das propriedades acústicas do ambiente, os testes apresentaram um resultado estatisticamente sem variação. Isso vem a refletir diretamente na aplicação do tratamento na prática, pois os resultados demonstraram que o tratamento possui o mesmo efeito em diferentes condições de ambientes e, o mais relevante, que a alteração no comportamento dos cupins está relacionada com a frequência utilizada.

De acordo com o observado, pode-se dizer que este som, com as características de frequência 300-700 Hz e quatro cristas, foi capaz de gerar uma força de pressão (e densidade), suficiente para estimular constantemente as sensilas dos cupins testados. Este estímulo ocorreu de forma a alterar o posicionamento dos mecanorreceptores nas faixas de maior e menor pressão, empurrando-os e permitindo um leve relaxamento (retorno a posição inicial) respectivamente (Figura 33). Isto só foi possível por causa das características intrínsecas deste som, pois outros tipos de configurações apresentam áreas de pressão e forças diferentes (deslocamento das sensilas).

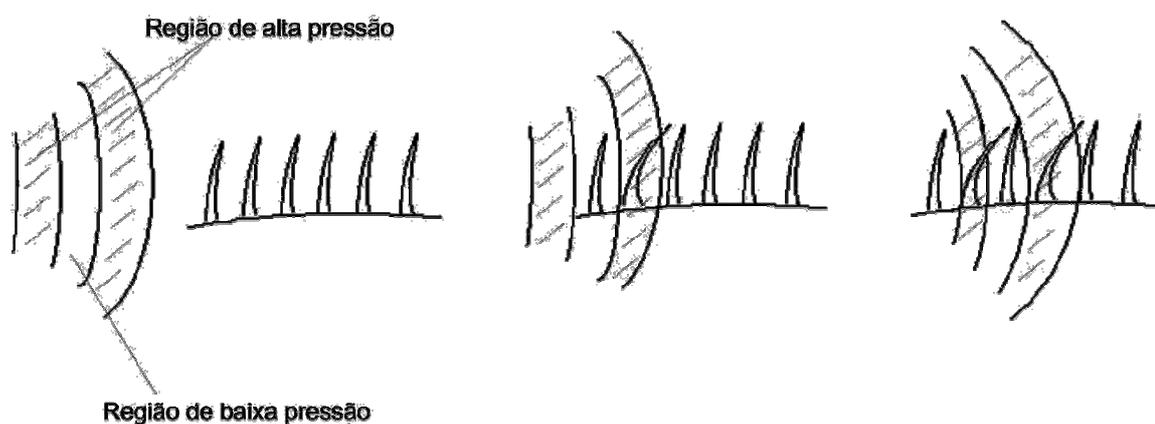


Figura 33 – Atuação das áreas de pressão sobre as sensilas. As sensilas que estão sobre influência das áreas de pressão mais densas (alta pressão) apresentam um deslocamento maior e as regiões de menor densidade (baixa pressão) permitem a volta ao repouso das sensilas

Ainda de acordo com as observações, este som, de frequência de 300-700 Hz com quatro cristas, apresentou características de taxia positiva e atordoamento (relacionado com desempenho motor) dos cupins sem que houvesse danos permanentes nos indivíduos submetidos ao tratamento. Entretanto, os efeitos associados à coordenação motora demandam de certo tempo de exposição, variando de 15 a 30 minutos e está intimamente ligado a força do som utilizada.

O segundo tipo de som construído, com frequência de 300-700 Hz e com dez cristas (tratamento 31), também apresentou um nível de sensibilidade quatro dentro da escala adotada. Diferente do som anterior (de mesmas frequências), este não apresentou o fenômeno de taxia de maneira evidente, entretanto as observações mostraram um efeito maior com relação à letargia.

No início do teste dois cupins encontravam-se parados e com movimentação normal de patas e antenas enquanto os outros dois estavam em movimentação lenta e aleatória. Aos cinco minutos de exposição três dos cupins estavam completamente imóveis enquanto o outro se movimentava muito lentamente, de forma a arrastar o abdome sobre o papel umedecido. Dos três que estavam parados, dois estavam em repouso no início do teste os quais não variaram suas posições neste período de tempo. Aos dez minutos de exposição os quatro cupins estavam imóveis. O inseto que estava em movimentação na observação anterior parou próximo à fonte sonora e os outros três (que já estavam parados) não variaram suas posições. Um destes cupins, aos 20 minutos de exposição, estava caído de lado com as patas para cima (Figura 34) e só voltou a ficar em pé após dois minutos aproximadamente. Após 30 minutos, dois cupins continuavam completamente imóveis, sendo um destes desde o início do teste, e os outros dois andavam vagarosamente, longe da fonte, mas de maneira aleatória. Durante mais 20 minutos estes dois cupins que estavam se movimentando mantiveram seu estado, entretanto enquanto se moviam davam a impressão de que algo estava pesando sobre seus corpos, fazendo-os arrastar seu abdome no chão sobre o papel umedecido.

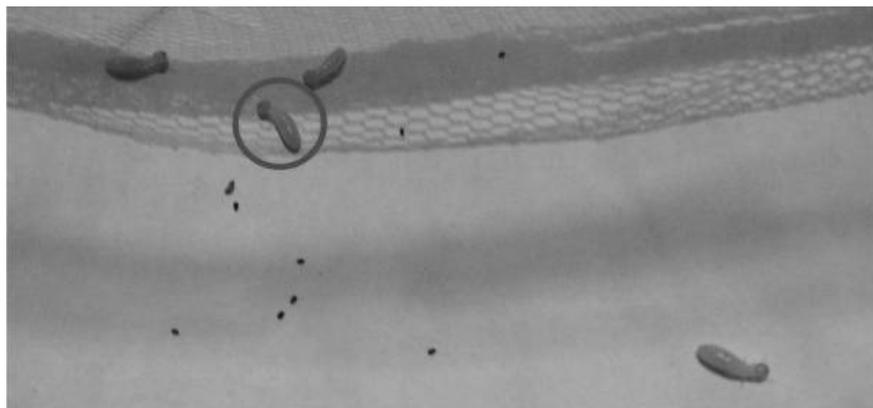


Figura 34 – Movimentação dos insetos no teste de eficiência para o tratamento 31. Dentro do círculo em vermelho se encontra o inseto virado com as patas para cima

Após uma hora de exposição todos os cupins se encontravam novamente imóveis, sendo que três destes permaneceram assim até o final do teste. Um dos cupins, aos 80 minutos de exposição, iniciou uma movimentação lenta, porém agitada, até uma das faces (tule) do recipiente e, com dificuldade, conseguiu atravessá-la. Após alguns instantes este inseto caiu ao chão e começou a se afastar da fonte (Figura 35). Este cupim começou a apresentar sinais mais intensos de desorientação, se movimentando lateralmente como se estivesse caindo para um dos lados tentando compensar seu desequilíbrio com uma movimentação mais agitada.

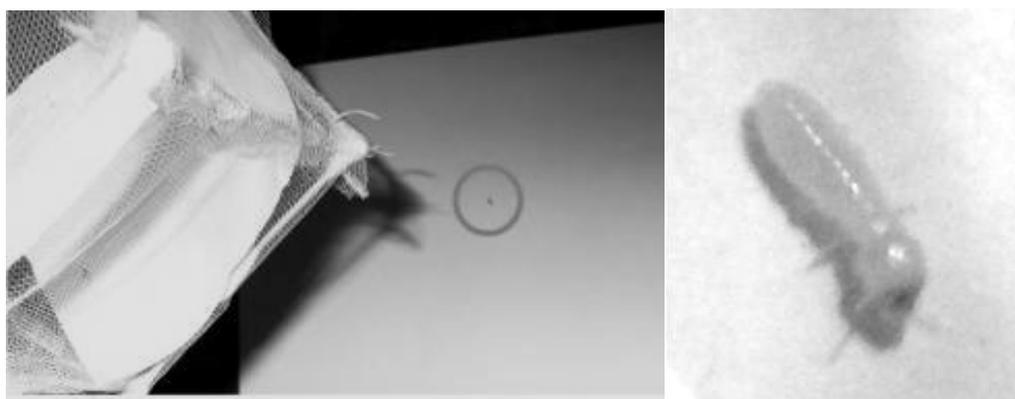


FIGURA 35 – Cupim caído no chão no teste de eficiência para o tratamento 31. À direita foto tirada com ampliação de 6 vezes

De acordo com as observações realizadas, a movimentação dos cupins não seguiram uma tendência bem definida (Figura 36). Entretanto pode-se dizer que este

tratamento apresentou forte influência sobre o estado comportamental dos cupins, levando-os a um estado de extrema letargia (Tabela 14) com a associação de danos permanentes. Foi observado durante a realização do teste que os cupins que permaneciam imóveis, vez ou outra, tremiam seus corpos por poucos segundos. Na fase de observação do pós-tratamento verificou-se a morte de um cupim após uma hora do fim da exposição ao som. Durante as horas subseqüentes de observação, percebeu-se que os cupins não retornaram ao seu estado de comportamento natural, ficando na maior parte do tempo parados, sem movimentação de patas e antenas e quando se moviam o faziam de forma muito lenta. As observações foram realizadas por um período de 15 horas após o término do tratamento.

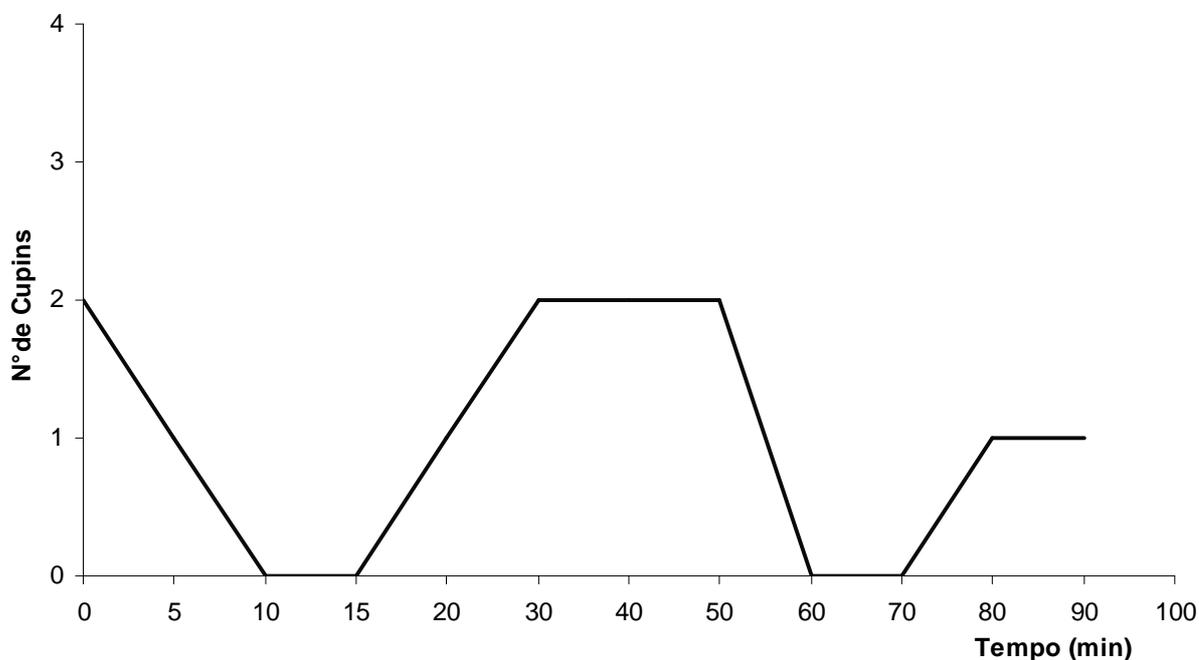


Figura 36 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes* sp.) em função do tempo para o tratamento 31 (300/700 Hz com dez cristas)

Tabela 14 – Classificação do efeito causado pelo tratamento 31 sobre os insetos os insetos do gênero *Cryptotermes sp.* segundo os diferentes tipos de ambiente

Ambiente	Número de insetos testados	Efeito do Tratamento			Nível de Sensibilidade
		Letargia	Agitação	Sem efeito	
Estúdio	10	9	1	0	4
Ateliê	4	4	0	0	4
Reverberação I	4	4	0	0	4
Reverberação II	4	4	0	0	4
Total	22	21	1	0	
Média		5,25	0,25		4
Desvio Padrão		2,5	0,5		0

No teste de eficiência na madeira, para o mesmo tratamento, os cupins apresentaram-se indiferentes no início, entretanto passados aproximadamente sete minutos os cupins começaram a demonstrar um desconforto que os fizeram iniciar uma leve movimentação. Dois cupins saíram da abertura feita na madeira e pararam logo em seguida. Aos 10 minutos de exposição outro inseto começou a sair da abertura, mas caiu antes de chegar à borda, aparentemente devido a um distúrbio de equilíbrio, pois o inseto não conseguiu se virar nos minutos subseqüentes, permanecendo imóvel até outro cupim o estimular e auxiliá-lo a ficar em pé. Passados 15 minutos de exposição quatro cupins estavam fora das aberturas em movimentação lenta. Aos 20 minutos, três dos cupins que estavam na superfície encontravam-se parados (relativo à suas posições) apresentando uma movimentação lenta de suas antenas. O outro cupim que estava na superfície começou a movimentar-se de forma mais pesada, arrastando seu abdome na madeira. Os dois cupins que permaneciam dentro das aberturas encontravam-se imóveis movimentando-se pouco até o fim do teste. Um dos cupins que estava parado na superfície da madeira voltou para dentro de uma das aberturas enquanto outros se movimentaram de forma lenta e aleatória durante o restante do tempo da exposição ao tratamento (Figura 37).

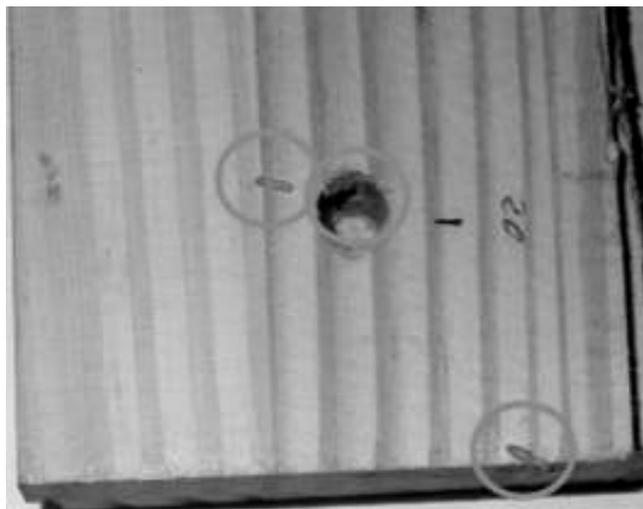


Figura 37 – Movimentação dos insetos no teste de eficiência na madeira para o tratamento 31

Para os tratamentos nos outros ambientes (ateliê e salas com reverberação) os resultados das observações foram semelhantes aos obtidos no estúdio. Os cupins apresentaram um estado acentuado de letargia, principalmente nos ambientes onde se faziam presentes os efeitos de reverberação. Os níveis de sensibilidade verificados foram os mesmos para todos os ambientes (Tabela 15). Para o ambiente com reverberação foi observado um resultado mais próximo ao obtido no tratamento 30, isto devido ao próprio fenômeno de reverberação que, devido às dimensões da sala, alteraram as propriedades de parte das ondas por intermédio de ações destrutivas e construtivas.

Os resultados obtidos nos diferentes ambientes não apresentaram diferença estatística, a um nível de significância de cinco por cento, segundo o teste dos sinais (Anexo II - 2).

De acordo com o observado, pode-se dizer que este som, com as características de frequência 300-700 Hz e com dez cristas, apresentou fortes características de atordoamento (relacionado com desempenho motor) dos cupins com danos permanentes nos indivíduos submetidos ao tratamento, podendo-os levar a morte. Os efeitos associados às funções motoras demandaram de certo tempo de exposição, variando de 15 a 30 minutos (como no tratamento anterior), e está intimamente ligado a força do som utilizada. Ainda de acordo com as observações, percebeu-se que quanto maior o tempo de exposição maior foi a intensidade dos danos causados as função motoras dos cupins.

O último som construído que foi classificado com nível de sensibilidade quatro, foi o tratamento 32 que associou três frequências distintas, sendo elas 300-700-500 Hz com dez cristas. Percebeu-se, para este som, uma forte taxa negativa constante ao longo do tempo de exposição, associado a um distúrbio no equilíbrio e funções motoras dos cupins. No início do teste os quatro cupins estavam em uma movimentação moderada, com deslocamentos aleatórios. Após cinco minutos de exposição ao som, um dos insetos encontrava-se parado (apenas relativo à posição), dois outros estavam se movimentando moderadamente, e o último estava se movendo também moderadamente, mas se afastando ao máximo da fonte sonora. Aos dez minutos de exposição dois cupins encontravam-se parados e dois estavam se deslocando juntos (mesma direção e sentido) de forma moderada (taxia negativa). Aos 15 minutos um dos cupins começou a subir pelo tule da face oposta a da fonte sonora e os outros três passaram a se movimentar de forma moderada e aleatória (Figura 38). Passados mais cinco minutos, o inseto que estava escalando o tule permanecia parado, enquanto que os outros três estavam juntos e parados no canto oposto da fonte sonora com pouca movimentação de membros. Aos 30 minutos após o início do teste, o inseto que estava escalando o tule permanecia parado, mas muito agitado e outros dois encontravam-se em movimentação intensa. O quarto inseto continuava parado na mesma posição desde os 20 minutos. Passado mais dez minutos, todos os cupins encontravam-se parados e, aos 50 minutos de exposição, um dos cupins iniciou uma movimentação com nítida disfunção em seu equilíbrio. Isto devido ao fato de o inseto cair de lado constantemente enquanto andava, retornando a pôr-se em pé e caindo em seguida. Sua movimentação era moderada e quando caía alterava-se para um estado extremamente agitado até conseguir se virar. Nos 30 minutos que se passaram após a última observação todos os cupins permaneceram parados distantes da fonte. Aos 90 minutos de exposição ao tratamento um dos cupins encontrava-se em movimento letárgico (Figura 39).

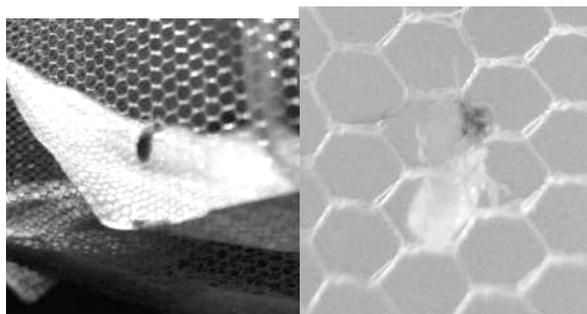


Figura 38 – Movimentação dos cupins no teste de eficiência para o tratamento 32. À direita foto tirada com aumento de 5 vezes

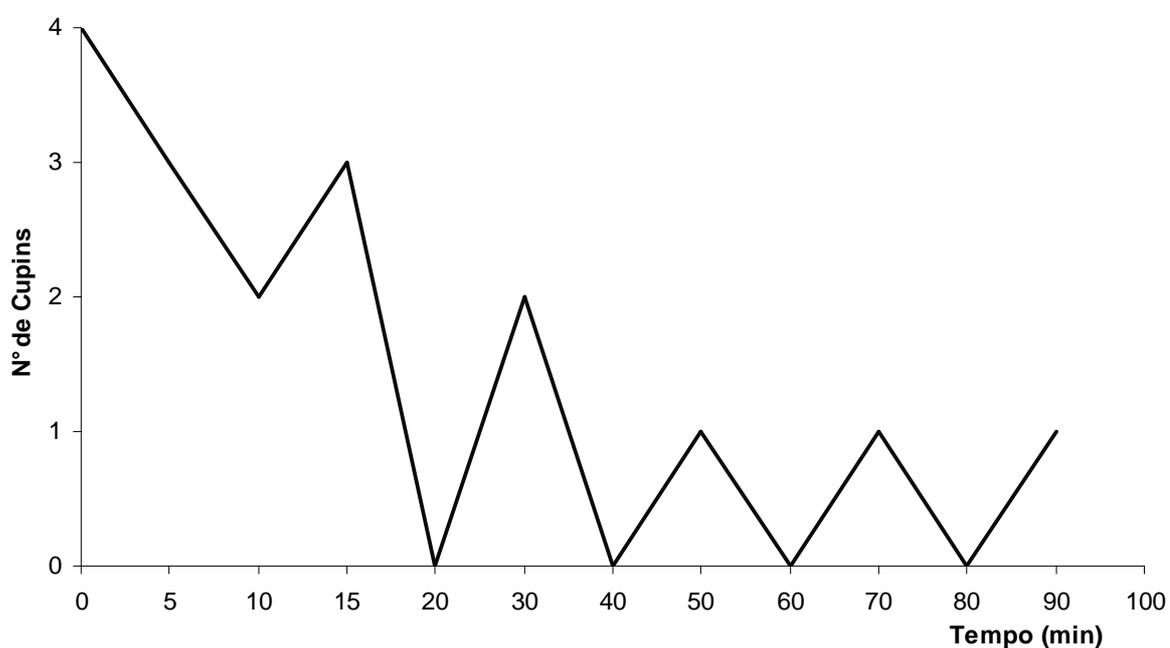


Figura 39 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes sp.*) em função do tempo para o tratamento 32 (300/500/700 Hz com 10 cristas)

Após o término do teste iniciou-se a fase de observação, onde se verificou que após uma hora de observação um dos cupins encontrava-se morto e os outros três em estado de letargia intensa. Após 15 horas de observações um dos três cupins que permaneceram vivos encontrava-se imóvel e com as patas para cima. Os outros dois, permaneciam imóveis também, não movimentando patas e antenas (Figura 40). O estado dos cupins, considerando o tempo de observação pós-tratamento, variou de modo a que eles apresentaram um comportamento mais letárgico na medida em que o tempo foi passando. Entretanto, nenhuma morte a mais foi verificada.

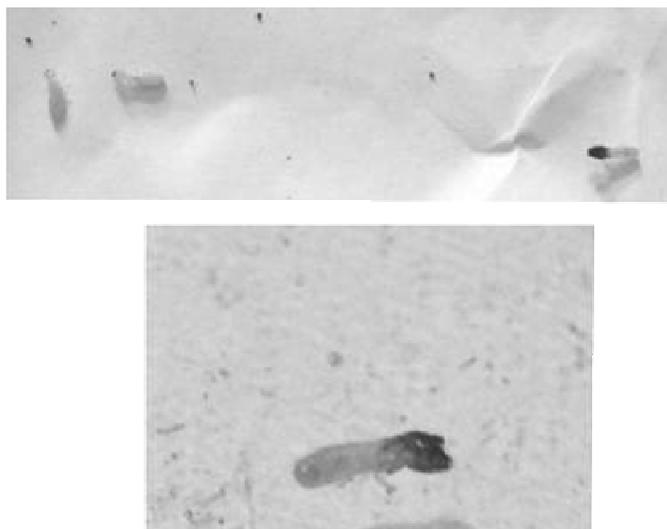


Figura 40 – Fase de observação dos cupins para o teste de eficiência do tratamento 32

No teste de eficiência na madeira, para o tratamento 32 (300/700/500 Hz com dez cristas), os cupins apresentaram-se indiferentes no início do teste. Aos sete minutos de exposição os mesmos apresentavam-se inquietos dentro das aberturas na madeira e, após dez minutos de observação, dois cupins saíram das aberturas de forma agitada. Estes insetos percorreram aceleradamente o perímetro da madeira, diminuindo o ritmo à medida que o tempo passava. Aos 15 minutos de exposição seis insetos encontravam-se na superfície da madeira, sendo que dois destes estavam imóveis e dois dos que estavam se movimentando demonstravam sinais de desequilíbrio (Figura 41). Passados mais dez minutos, todos os cupins encontravam-se fora das aberturas e, dois deles, estavam fora da madeira se afastando da fonte sonora. No tempo seguinte os cupins mantiveram o mesmo comportamento agitado que vinham apresentando, sendo que por algumas vezes alguns caíam de lado e permaneciam parados quando se colocavam em pé.



Figura 41 – Deslocamento dos cupins para fora dos orifícios da madeira, para o tratamento 32

Segundo as observações realizadas, durante o período de tratamento os cupins apresentaram-se inquietos e agitados (Tabela 15) e quando foram postos em observação no pós-tratamento, apresentaram um comportamento letárgico que aumentava com o passar do tempo.

Para os tratamentos nos outros ambientes apenas o ateliê apresentou o mesmo nível de sensibilidade que o teste em estúdio (Tabela 15). Os ambientes com a presença de reverberação obtiveram uma classificação maior de sensibilidade provavelmente pelo fato de existir nestes ambientes ações destrutivas e construtivas sobre as ondas, associado ao efeito de um número maior de fontes sonoras distribuídas pela sala. Nestes dois ambientes não se percebeu o fenômeno de taxia negativa, mas se observou uma maior intensidade na agitação dos insetos durante o período de tratamento. Houve a observação de uma morte no ambiente de reverberação II, após 40 minutos do final do tratamento, e duas mortes para a sala com reverberação, após uma hora e vinte minutos.

TABELA 15 – Classificação do efeito causado pelo tratamento 32 sobre cupins do gênero *Cryptotermes sp.* segundo os diferentes tipos de ambiente

Ambiente	Número de insetos testados	Efeito do Tratamento			Nível de Sensibilidade
		Letargia	Agitação	Sem efeito	
Estúdio	10	3	7	0	4
Ateliê	4	1	3	0	4
Reverberação I	4	0	4	0	5
Reverberação II	4	0	4	0	5
Total	22	4	18	0	
Média		1	4,5		4,5
Desvio Padrão		1,41	1,73		0,58

Os resultados obtidos nos diferentes ambientes não apresentaram diferença estatística, a um nível de significância de cinco por cento, segundo o teste dos sinais (Anexo II – 3).

De acordo com o observado, pode-se dizer que este som, com as características de frequência 300-700-500 Hz e com dez cristas, apresentou

características capazes de causar agitação intensa associada a taxia negativa e distúrbios de equilíbrio nos cupins, com danos permanentes nos indivíduos submetidos ao tratamento, levando-os a um estado de letargia extrema (no pós-tratamento), podendo-os levar a morte.

4.4.2 Tratamentos Classificados com Nível Cinco de Sensibilidade

Os sons que obtiveram um nível de sensibilidade cinco apresentavam as características de freqüências de 300-700-500 Hz com cinco segundos, de 300-300 Hz com amplitudes de 128-50 e dois segundos e de 700-700 Hz com amplitudes de 128-50 e dois segundos (Tabela 16).

Tabela 16 – Características das freqüências sonoras que apresentaram nível cinco de sensibilidade para o Teste de eficiência

Identificação	Freqüência (Hz)	Amplitude	Elemento de Repetição	Nível de Sensibilidade
33	300-700-500	50	5 segundos	5
34	300-300	128-50	2 segundos	5
35	700-700	128-50	2 segundos	5

O tratamento 33, de freqüências 300-700-500 com cinco segundos, foi o primeiro a apresentar um nível de sensibilidade cinco. Isto devido ao fato de que, neste tempo estipulado para cada freqüência, foi possível que cada uma causa-se um determinado tipo de reação diferente e, estando em uma ordem contínua, os cupins foram submetidos a variações de estímulos que tiveram seus efeitos potencializados. Para este tratamento foi observado que não houve o fenômeno de taxia, entretanto a influência do som foi extremamente forte no desencadeamento de um comportamento letárgico. Imediatamente após o início do teste, dois dos cupins começaram a movimentar-se de maneira lenta. Aos cinco minutos de observação, a situação se mantinha, ou seja, dois cupins permaneciam parados e dois se moviam muito lentamente, em relação ao deslocamento e movimentos de patas e antenas. Passados mais cinco minutos, todos os cupins encontravam-se parados, sendo que dois destes estavam completamente imóveis. Este comportamento foi observado

durante todo o teste, e em poucas vezes um dos cupins (dos não imóveis) apresentava uma leve movimentação de deslocamento (Figura 42).

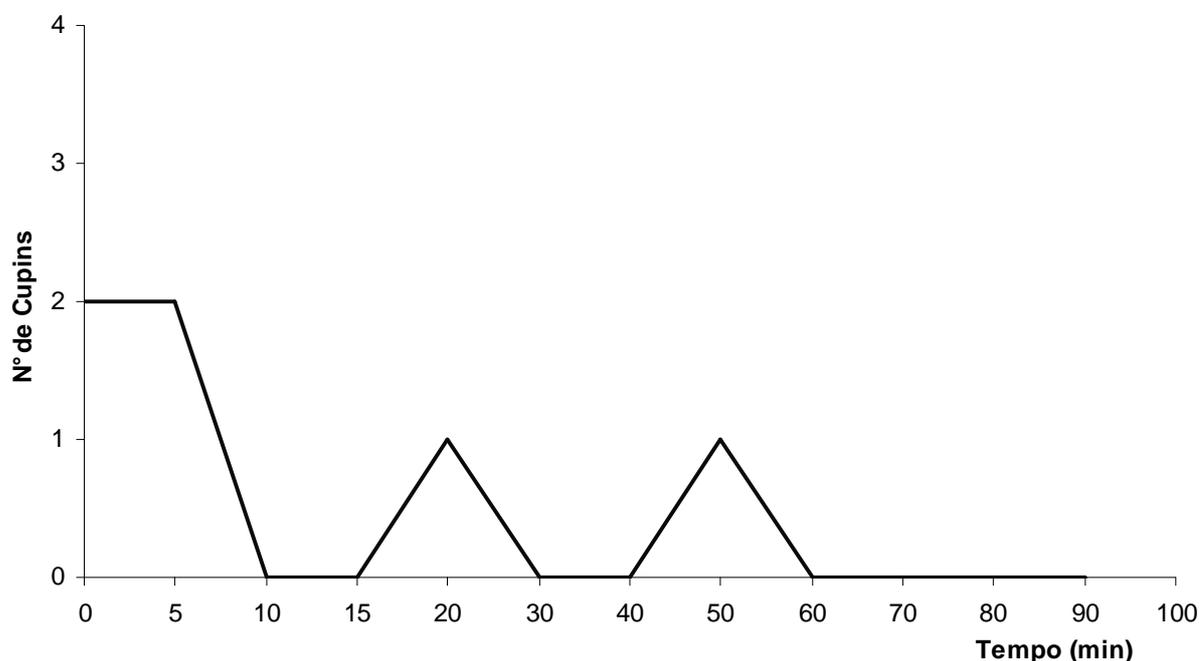


Figura 42 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes sp.*) em função do tempo para o tratamento 33 (300/700/500 Hz com cinco segundos)

Após o término do tratamento, iniciou-se a fase de observação e foi constatado que, ao tempo de duas horas e meia, houve a observação de um cupim morto e um comportamento letárgico nos outros três (Figura 43). Após quatro horas foi verificado que outro cupim havia morrido e os outros dois mantinham um estado de letargia intensa. Estes dois que permaneceram vivos não voltaram a apresentar um comportamento normal, estando num estado de letargia permanente, não tendo sido observadas mais mortes para este tratamento.

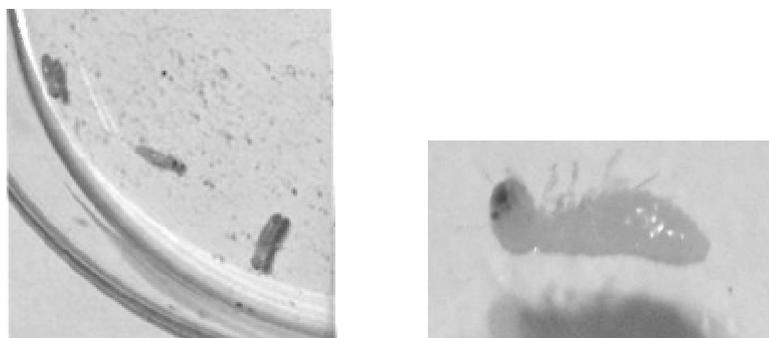


Figura 43 – Fase de observação dos insetos no teste de eficiência, após duas horas e trinta minutos, para o tratamento 33. A esquerda têm-se os insetos sob efeito de letargia e a direita o inseto morto

O teste de eficiência na madeira, para o mesmo tratamento, apresentou resultados semelhantes ao teste de eficiência, onde os cupins foram expostos diretamente às frequências. Os cupins permaneceram no interior das aberturas por aproximadamente oito minutos, quando então dois deles, presentes na abertura mais próxima à fonte sonora, saíram movimentando-se lentamente. Após 20 minutos de exposição ao tratamento mais dois cupins encontravam-se na superfície da madeira e três, dos quatro que estavam fora das aberturas, permaneciam imóveis. Os outros dois cupins que permaneceram no interior das aberturas encontravam-se imóveis e não saíram para a superfície em nenhum momento durante a realização do teste (Figura 44). No decorrer do teste, os cupins que se encontravam na superfície da madeira permaneceram parados, com pouca variação de posição e com baixa intensidade de movimentação de patas e antenas, sendo que por vários momentos (observações) se encontravam totalmente imóveis.



Figura 44 – Cupins no interior da abertura na madeira no teste de eficiência na madeira para o tratamento 33

No período de observação, foi verificada a morte de um cupim. Os outros permaneceram parados por um período seguido de três horas, sendo que após este período de tempo um deles encontrava-se em movimento muito lento e outro estava caído de lado. Mesmo com o observado (o inseto caído), não foi verificada mais nenhuma morte no decorrer das observações. Entretanto, também não foi verificada uma melhora no efeito de letargia que os cupins apresentaram durante e após o tratamento.

Para os tratamentos nos outros ambientes (ateliê, reverberação I e II) o nível de sensibilidade observado foi cinco (Tabela 17). Isto devido ao fato de todos os

tratamentos apresentarem pelo menos uma morte. No ambiente de ateliê foi observado um comportamento semelhante ao descrito para o teste de eficiência, sendo que o maior efeito observado foi a total falta de mobilidade por parte dos cupins testados. Para este teste foi verificada apenas uma morte, após um tempo aproximado de uma hora e trinta minutos. Os outros cupins permaneceram em um estado de letargia intensa, não sendo verificada suas recuperações. Os ambientes com a presença de reverberação apresentaram um resultado melhor quanto aos efeitos mais visíveis sobre os cupins. Os insetos expostos ao tratamento 33 nestes ambientes começaram a apresentar, após 30 minutos, sinais de distúrbio de equilíbrio associado a uma desorientação intensa. Isto foi constatado devido ao fato deles andarem de lado, girarem em volta do próprio eixo, andarem para frente e para trás, com pouco deslocamento e caírem de lado (Figura 45). Para estes dois últimos ambientes, reverberação I e II, foram verificadas a morte de dois e três cupins respectivamente. Para o ambiente de reverberação I as mortes foram observadas nos tempos de duas horas e três horas e quinze minutos. Para o ambiente de reverberação II duas mortes foram observadas após uma hora e trinta minutos e outra após três horas.

TABELA 17 – Classificação do efeito causado pelo tratamento 33 sobre os insetos os insetos do gênero *Cryptotermes sp.* segundo os diferentes tipos de ambiente

Ambiente	Número de insetos testados	Efeito do Tratamento			Nível de Sensibilidade
		Letargia	Agitação	Sem efeito	
Estúdio	10	10	0	0	5
Ateliê	4	4	0	0	5
Reverberação I	4	3	1	0	5
Reverberação II	4	3	1	0	5
Total	22	20	2	0	
Média		5	4,5		5
Desvio Padrão		3,37	0,58		0

Os resultados obtidos nos diferentes ambientes não apresentaram diferença estatística, a um nível de significância de cinco por cento, segundo o teste dos sinais

(Anexo II – 4), cabendo aqui as mesmas considerações feitas com relação aos ambientes para os tratamentos anteriores.

De acordo com o observado, pode-se dizer que este som, com as características de frequência 300-700-500 Hz e com cinco segundos, apresentou características capazes de provocar letargia intensa ao ponto de causar paralisia momentânea e danos permanentes ao sistema de equilíbrio dos cupins. Constatou-se que para este tratamento os danos causados puderam levar os cupins à morte, sendo indiferente o ambiente e se os mesmos estavam ou não dentro da madeira.



Figura 45 – Cupim virado com as patas para cima no teste de eficiência para o tratamento 33 no ambiente de reverberação

Para o quinto som construído para o teste de eficiência, cujas características foram 300-300 Hz de frequência, com dois segundos e amplitudes de 128 e 50, percebeu-se que esta combinação causou um desconforto nos cupins, deixando-os inquietos e agitados e criando uma taxia negativa. Antes do início do teste de eficiência três cupins encontravam-se parados e um em movimentação lenta. Imediatamente após o início da exposição ao tratamento todos os cupins começaram a se movimentar de maneira muito agitada. Passados cinco minutos de exposição um inseto encontrava-se parado próximo à fonte e os outros três estavam em movimentação intensa no lado oposto ao da fonte sonora, aparentemente tentando se distanciar ao máximo dela. Isto foi percebido devido ao fato dos cupins estarem tentando passar pelo tule, sendo que um deles conseguiu passar a cabeça por um dos espaços do tecido (Figura 46). Aos 15 minutos de tratamento três cupins estavam parados e o outro estava em movimentação lenta andando sobre uma das faces laterais do recipiente de teste pelo lado de fora. A situação se manteve por mais 15 minutos, entretanto a movimentação do inseto que estava do lado de fora do recipiente aumentou para um nível agitado. Aos 30 minutos do início do tratamento, todos os cupins estavam parados, mas um deles, o que estava

anteriormente do lado de fora do recipiente, estava no chão. A movimentação dos cupins (Figura 47) aos 40 minutos de exposição era intensa, entretanto apenas um deles apresentava deslocamento e os outros três se moviam agitadamente sem sair do lugar, sendo que o inseto que estava no chão permanecia parado. O inseto que estava em movimento apresentava sinais de desorientação e falta de equilíbrio, pois constantemente foi verificado que este caía de lado e tinha dificuldade em voltar a se pôr em pé. Este comportamento, dos cupins parados e do em movimento, se manteve até os 90 minutos de exposição, onde foi observado que todos estavam parados.

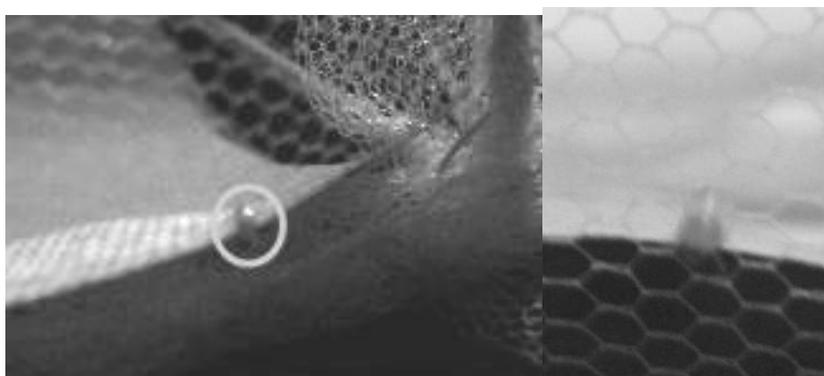


Figura 46 – Cupim saindo do recipiente de teste, no teste de eficiência para o tratamento 34

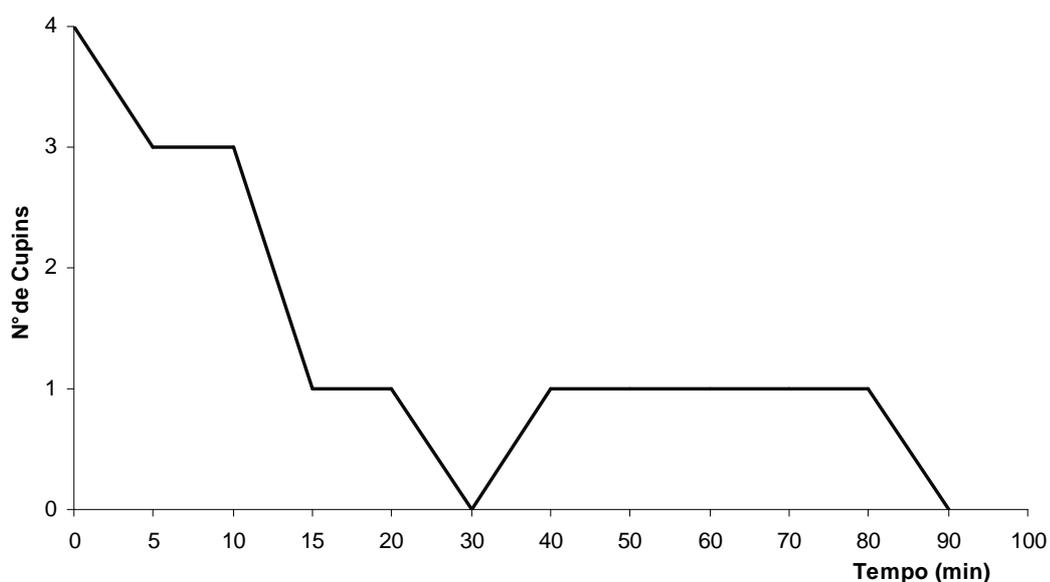


Figura 47 – Atividade dos cupins (*Cryptotermes sp.*) em função do tempo para o tratamento 34 (300/300 Hz com amplitude de 128-50)

Aproximadamente 12 minutos após o início da fase de observação, o cupim que apresentava problemas de equilíbrio encontrava-se virado com as patas para cima e não conseguia se virar. Este inseto assim permaneceu durante todo o tempo de observação. Foram verificadas duas mortes após três horas de observação, sendo que os outros cupins mantiveram-se imóveis durante este tempo e nas horas subsequentes, como se estivessem sobre o efeito de algum tipo de força sobre seus corpos. Nenhuma outra morte foi verificada para o teste de eficiência dentro das condições de estúdio.

No teste de eficiência na madeira foi observado um comportamento de agitação que foi aumentando com o passar do tempo de exposição. Aos seis minutos de tratamento, dois cupins saíram para a superfície e começaram a andar pela mesma de maneira agitada. Enquanto isso, os que permaneciam nas aberturas apresentavam sinais de agitação, movimentando patas e antenas rapidamente, levantando a cabeça e andando pela parede da aberturas (Figura 48). Aproximadamente aos 15 minutos mais dois cupins encontravam-se fora do recipiente. Os dois primeiros cupins a saírem das aberturas apresentavam uma movimentação moderada. Por volta dos 25 minutos de exposição ao tratamento todos os cupins encontravam-se fora das aberturas e com um comportamento agitado. Após uma hora de tratamento um dos cupins encontrava-se fora da madeira, a uma distância aproximada de dez centímetros, e se afastando da fonte sonora. No tempo subsequente dois cupins voltaram para dentro das aberturas (com aproximadamente 50 minutos de exposição) e permaneceram imóveis até o fim do teste. Os outros cupins continuaram a se movimentar de forma agitada e de maneira a se afastar da fonte, entretanto nenhum deles, com exceção do citado anteriormente, desceu da madeira. Os cupins caminhavam pela superfície superior da madeira e, algumas vezes, passavam para as superfícies laterais.



Figura 48 – Cupins no interior da abertura na madeira no teste de eficiência na madeira para o tratamento 34

No período de observação ocorreu a morte de um cupim no tempo de uma hora e vinte minutos, não sendo mais observado mortes para este tratamento. Os outros cupins apresentaram um comportamento semelhante ao observado no teste de eficiência, mantendo-se imóveis como se estivessem sobre o efeito de algum tipo de força sobre seus corpos.

Para os tratamentos realizados nos outros ambientes o nível de sensibilidade também foi cinco (Tabela 18). Para o ambiente de ateliê foi verificado um comportamento semelhante ao observado em estúdio, sendo que todos os cupins expostos apresentaram sinais de intensa agitação e dois destes apresentaram distúrbios de equilíbrio. Para este ambiente foi observada uma morte após duas horas e trinta minutos do término da exposição ao som. Para os ambientes de reverberação os efeitos associados à desorientação e disfunção no equilíbrio foram maiores, sendo observados vários insetos caindo de lado e tendo dificuldade em se reerguer (Figura 49). Para ambos os tratamentos foram observadas duas mortes, com um tempo médio de quatro horas.

Tabela 18 – Classificação do efeito causado pelo tratamento 34 sobre os cupins do gênero *Cryptotermes* sp. segundo os diferentes tipos de ambiente

Ambiente	Número de insetos testados	Efeito do Tratamento			Nível de Sensibilidade
		Letargia	Agitação	Sem efeito	
Estúdio	10	1	9	0	5
Ateliê	4	0	4	0	5
Reverberação I	4	0	4	0	5
Reverberação II	4	1	3	0	5
Total	22	2	20	0	
Média		0,5	5		5
Desvio Padrão		0,58	2,71		0

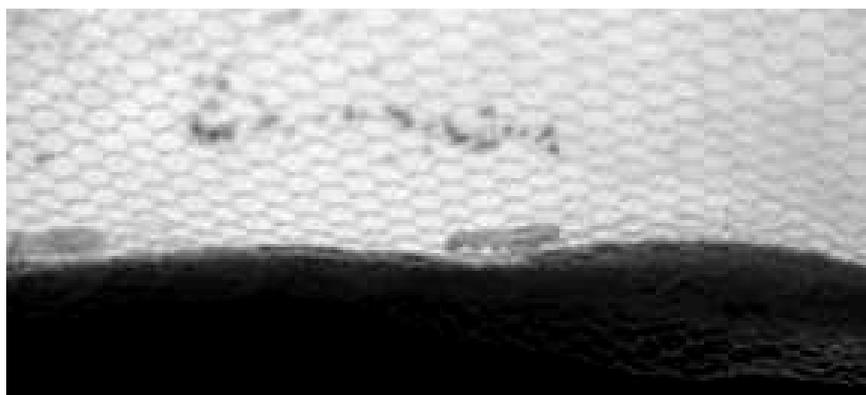


Figura 49 – Movimentação dos cupins no teste de eficiência para o tratamento 34, no ambiente de reverberação II

Os resultados obtidos nos diferentes ambientes não apresentaram diferença estatística, a um nível de significância de cinco por cento, segundo o teste dos sinais (Anexo II – 5).

De acordo com o observado, pode-se dizer que este som, com as características de frequência 300-300 Hz com dois segundos e amplitudes de 128 e 50, apresentou características de taxia negativa associado à intensa agitação e estresse nos cupins testados. Percebeu-se ainda que este tratamento causou distúrbios de equilíbrio e leve desorientação, fazendo, em algumas vezes, os cupins ficarem parados ou mesmo caídos de lado. Assim como no tratamento anterior, este apresentou potencial para matar os cupins, sendo indiferente o ambiente e se os cupins estavam ou não dentro da madeira.

O último som construído para o teste de eficiência, com características de frequência 700-700 Hz com dois segundos e amplitudes de 128 e 50, apresentou os resultados mais expressivos em termos de alteração de comportamento dos cupins. Para este tratamento foi percebida uma intensa agitação associada a um aumento de agressividade dos cupins expostos. No início do teste todos os cupins estavam parados, com uma leve movimentação de membros, dentro dos padrões estabelecidos como normais. Após cinco minutos de exposição dois cupins começaram a movimentar-se de maneira lenta, mas em seguida voltaram a ficar em repouso (Figura 50). Esta condição se manteve até os 60 minutos de exposição, onde um dos cupins começou uma movimentação agitada. A partir deste ponto, os quatro cupins progressivamente começaram a apresentar um comportamento mais ativo e agitado. Aproximadamente aos 70 minutos de exposição, dois dos cupins se encontravam ao chão, tendo saído do recipiente entre os períodos de observação. Nesta observação, constatou-se o primeiro sinal de agressividade dos cupins expostos. Os dois que estavam ao chão se encontravam de frente um para o outro e faziam investidas com a cabeça um no outro, fazendo-as colidir num impacto aparentemente forte. Neste processo eles também elevavam suas cabeças e tórax, apoiando-se desengonçados sobre o abdome e caíam para frente batendo suas cabeças uma na outra. Após cinco investidas (visualizadas) ambos saíram andando, em direções diferentes, de maneira intensamente agitada. Aos 80 minutos de exposição os quatro cupins estavam se movimentando de maneira acelerada e agitada, aparentemente sem rumo ou direção. Percebeu-se que os mesmos evitavam a proximidade uns dos outros, mantendo-se sempre em atividade constante e movimentando-se de maneira a não se aproximarem. Aos 90 minutos de exposição os dois cupins que estavam no chão encontravam-se totalmente imóveis.

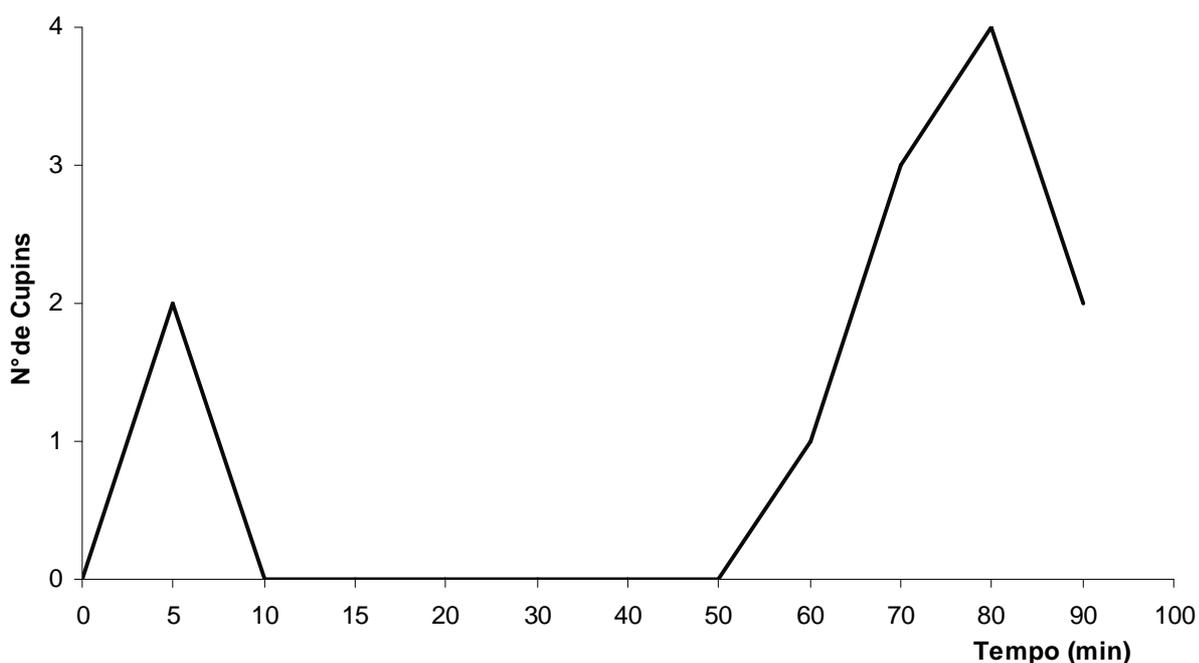


Figura 50 – Atividade dos cupins (*Cryptoterme sp.*) em função do tempo para o tratamento 35 (700/700 Hz com amplitude de 128-50)

Na fase de observação foi verificada a morte de dois cupins após uma hora de exposição e outra morte após duas horas. O inseto que permaneceu vivo encontrou-se imóvel em todas as observações realizadas.

O teste de eficiência na madeira apresentou resultados compatíveis com o teste de eficiência. Os cupins expostos ao tratamento permaneceram completamente imóveis dentro das aberturas na madeira, durante os 15 primeiros minutos da exposição (Figura 51). Isto se deveu ao fato de a alteração na pressão e densidade terem sido maiores nas regiões das aberturas da madeira, resultando num efeito maior dentro destas aberturas. Após 30 minutos de exposição três cupins estavam fora destas aberturas e, um destes, estava fora da madeira, andando vagarosamente no chão. Aos 50 minutos de exposição apenas mais um inseto estava na superfície da madeira. Estes cupins, que se encontravam fora das aberturas passaram a apresentar um comportamento agitado após uma hora de exposição. Não foi observada nenhuma ação agressiva, entretanto percebeu-se a mesma tendência deles não se aproximarem uns dos outros. O inseto que estava fora da madeira permaneceu imóvel dos 50 minutos de exposição até o final do

teste. Esta situação, três cupins em movimentação acelerada, um inseto imóvel fora da madeira e dois dentro das aberturas, se manteve até o término do teste.

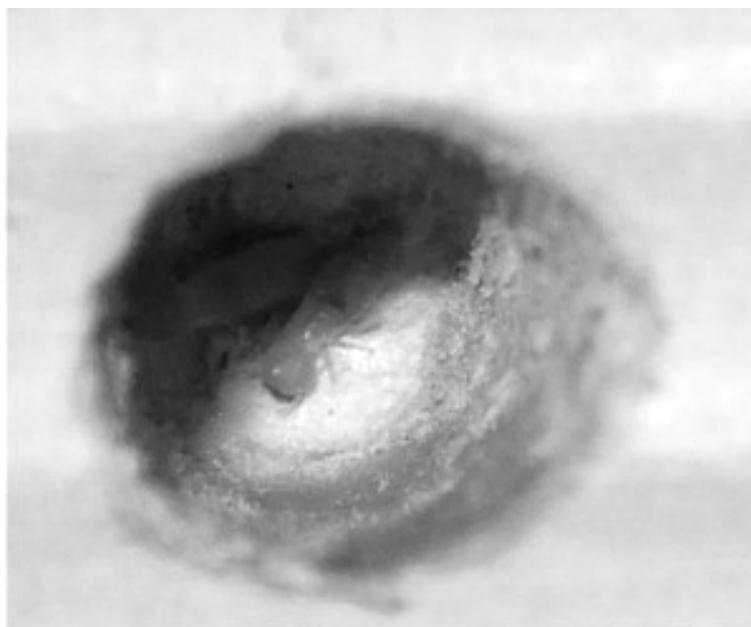


Figura 51 – Cupins no interior da abertura na madeira no teste de eficiência na madeira para o tratamento 35

Foi observado que ao final do teste de eficiência na madeira para o tratamento 35, dois cupins encontravam-se mortos. Estes eram os dois que se encontravam dentro das aberturas feitas na madeira. Após um período de duas horas de exposição mais uma morte foi constatada e outra após quatro horas do fim do teste (Figura 52). Portanto, para este tratamento foram observadas quatro mortes, dentre seis insetos, e os que permaneceram vivos apresentaram um comportamento letárgico no pós-tratamento.

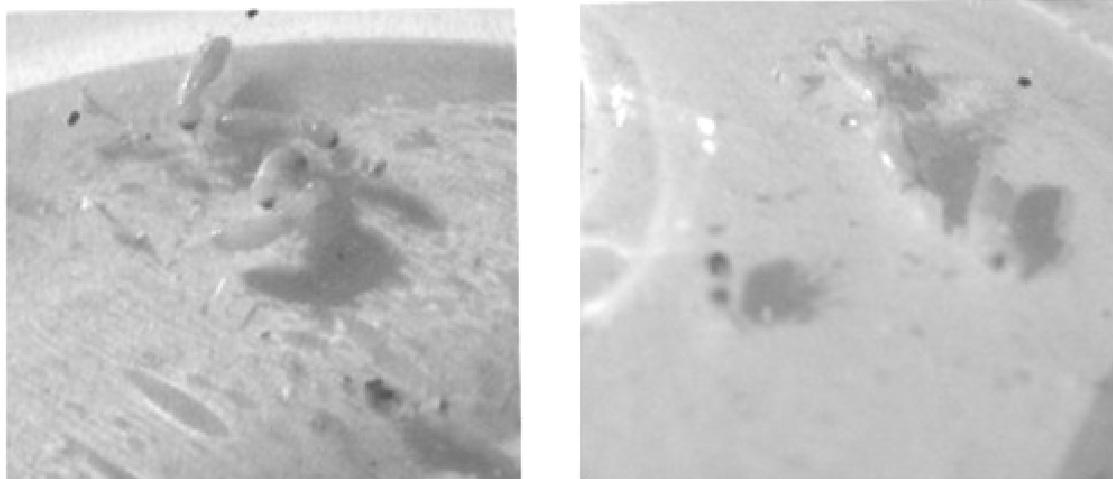


Figura 52 – Fase de observação dos insetos submetidos ao teste de eficiência na madeira para o tratamento 35

Para os tratamentos realizados nos outros ambientes o nível de sensibilidade observado também foi cinco (Tabela 19), sendo verificadas mortes em todos os ambientes testados.

Tabela 19 – Classificação do efeito causado pelo tratamento 35 sobre os insetos os insetos do gênero *Cryptotermes sp.* segundo os diferentes tipos de ambiente

Ambiente	Número de insetos testados	Efeito do Tratamento			Nível de Sensibilidade
		Letargia	Agitação	Sem efeito	
Estúdio	10	1	9	0	5
Ateliê	4	0	4	0	5
Reverberação I	4	0	4	0	5
Reverberação II	4	0	4	0	5
Total	22	1	21	0	
Média		0,25	5,25		5
Desvio Padrão		0,5	2,5		0

Para o ambiente de ateliê foi verificado um comportamento semelhante ao observado em estúdio, ou seja, intensa agitação associada a um aumento da agressividade, verificada através de investidas de alguns cupins mais agitados

contra outros que permaneciam parados. Para este ambiente foi observada uma morte 30 minutos após o término da exposição ao som. Para os ambientes de reverberação os efeitos foram também semelhantes aos demais ambientes, entretanto foi verificado que os cupins apresentaram um comportamento mais parecido com o descrito para os que permaneciam no interior das aberturas na madeira no teste anterior. Isto quer dizer que os cupins permaneceram parados a maior parte do tempo de exposição, mas mantinham uma movimentação intensa de patas e antenas. Para o ambiente de reverberação I foram verificadas duas mortes, sendo uma após, aproximadamente, 15 minutos e outra após uma hora do fim do tratamento. Para o ambiente de reverberação II também foram verificadas duas mortes, mas a primeira sendo ao final do tratamento e outra 30 minutos do final da exposição ao tratamento.

Os resultados obtidos nos diferentes ambientes não apresentaram diferença estatística, a um nível de significância de cinco por cento, segundo o teste dos sinais (Anexo II – 6).

De acordo com o observado, pode-se dizer que este som, com as características de frequência 700-700 Hz com dois segundos e amplitudes de 128 e 50, apresentou características que desencadearam uma intensa agitação e estresse nos cupins, levando-os a um estado de agressividade latente. Assim como nos tratamentos 33 e 34, este apresentou potencial para matar os cupins, sendo indiferente o ambiente e obtendo resultados melhores quando os cupins se encontravam no interior da madeira.

4.5 TESTE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Para o primeiro teste de isolamento (24 horas com observações), foi verificado que o isolamento acústico dos cupins alterou o seu padrão de comportamento, deixando-os em um profundo estado de letargia e desorientação. Neste teste foi verificado que após três horas de isolamento um dos cupins estava tremendo intensa e continuamente no mesmo lugar. Outro cupim encontrava-se virado com as patas para cima e os outros dois estavam andando para frente e para trás agitados e aparentemente desorientados (Figura 53).

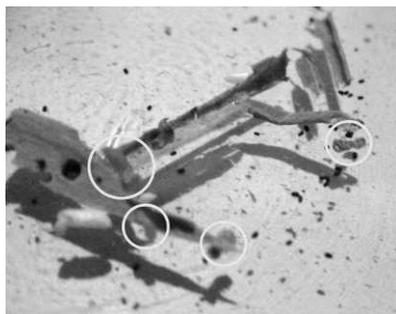


Figura 53 – Movimentação dos cupins no teste de isolamento após três horas de isolamento

Após seis horas de isolamento três dos cupins encontravam-se imóveis e o outro se encontrava parado (relativo à posição), mas se revirava intensamente, aparentemente com o abdome grudado no chão. Após 12 horas de isolamento verificou-se a morte de um dos cupins. Outros dois se encontravam em um estado letárgico e o outro, estava aparentemente, num estado normal. Depois de 24 horas de tratamento dois cupins estavam mortos e os outros dois estavam parados, mas com um comportamento aparentemente normal (Figura 54).

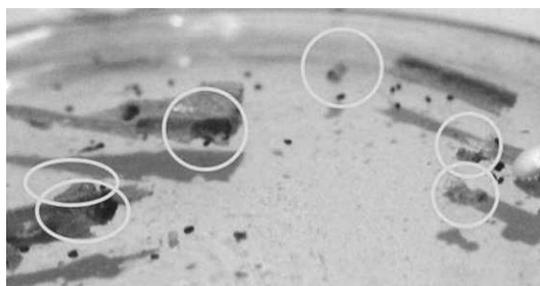


Figura 54 – Movimentação dos cupins no teste de isolamento após 24 horas de isolamento

Para o tratamento de isolamento sem observações, foi obtido um resultado melhor, em termos de mortandade e efeitos associados ao isolamento acústico como o estado de letargia. Ao final do tempo de isolamento verificou-se que cinco, dos seis cupins, estavam mortos e o que permanecera vivo apresentava um estado de intensa letargia. Quando este inseto foi tirado do isolamento, a fase de observação mostrou que ele ficava parado e constantemente tremia o corpo inteiro por poucos segundos (entre dois e três). Este estado manteve-se por todo o período de observação, sendo interrompido apenas em raros momentos onde o inseto

tentava caminhar, mas não conseguia devido à perda de equilíbrio e aparente desorientação.

Deste modo, os testes de isolamento apresentaram um resultado que permitem dizer que a ausência de som (variações de pressão e densidade) causam efeitos intensos nos cupins do gênero *Cryptotermes sp.*, levando-os a morte em períodos relativamente curtos de tempo e que o completo isolamento leva a um comportamento permanente de letargia associado a problemas nas atividades motoras.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos para os tratamentos com diferentes frequências sonoras sobre os cupins do gênero *Cryptotermes sp.*, dadas as condições de suas aplicações, conclui-se que:

- Algumas das frequências sonoras testadas (200, 300, 500, 600 e 700 Hz), dentro do limite audível do homem, foram capazes de influenciar o comportamento dos cupins de maneira a levá-los a estados de letargia ou agitação, havendo um aumento de agressividade entre indivíduos fazendo-os se atacarem.

- Causaram distúrbios nas funções motoras: As frequências sonoras de 200, 300 e 600 Hz, e as frequências associadas de 300-700 Hz com quatro cristas, 300-700 Hz com dez cristas, 300-700-500 Hz com dez cristas, 300-300 Hz com dois segundos e amplitude de 128-50 e o isolamento acústico.

- Causaram um efeito de Taxia (positiva ou negativa): As frequências sonoras de 300, 600 e 700 Hz, e as frequências associadas de 300-700 Hz com quatro cristas, 300-700-500 Hz com dez cristas e 300-300 Hz com dois segundos e amplitude de 128-50.

- Frequências que foram capazes de matar os cupins do gênero *Cryptotermes sp.*, sendo indiferente o ambiente no qual se encontravam: A de 700 Hz, e as frequências associadas de 300-700 Hz com dez cristas, 300-700-500 Hz com dez cristas, 300-700-500 Hz com cinco segundos, 300-300 Hz com dois segundos e amplitude de 128-50 e 700-700 Hz com dois segundos e amplitude de 128-50.

- As forças do som dos tratamentos realizados foram consideradas desprezíveis, dado o índice de força de impacto calculado (0,01 N).

- O isolamento acústico dos cupins do gênero *Cryptotermes sp.* os levou a um estado permanente de letargia associado com problemas nas atividades motoras, sendo que, quanto maior o período de tempo do isolamento, mais forte foram os efeitos observados, chegando à morte dos cupins.

Pode-se concluir ainda que a utilização de frequências sonoras pode ser utilizada tanto no tratamento curativo como no preventivo em peças de madeira, sendo elas obras de arte ou de uso comum e estando ou não fragilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **An Introduction to the Study of Insects**. Estados Unidos, Editora Books/Cole, 6ª edição, 1989. 875p.
2. BORROR, D. J.; DeLONG, D. M. **Introdução ao Estudo dos Insetos**. Traduzido pelo departamento de zoologia da USP. Editora Edgard Blucher/ Editora da USP, São Paulo, 1969. 653p.
3. BOSI, A. **Reflexões Sobre a Arte**. São Paulo, Editora Ática, 1986, 2ª edição. 80p.
4. BRAGA, M. (org). **Conservação e Restauro- Madeira, Pintura sobre Madeira, Douramento, Estuque, Cerâmica, Azulejo, Mosaico**. Rio de Janeiro, Editora Rio, 2003. 152p.
5. BRANDI, C. **Teoria da Restauração**. Cotia- São Paulo: Ateliê Editorial, 2004, 2ª edição. 261p.
6. BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of Wood Technology**. McGraw-Hill Book Company, INC, Nova Yorque, 1952, vol. II. 783p.
7. CHAPMAN, R. F. **The Insects- Structure and Function**. Londres, Editora The English Universities Press ltd, 1969. 817p.
8. CHOAY, F. **A Alegoria do Patrimônio**. São Paulo: Estação Liberdade: Editora UNESP, 2001, 1ª reimpressão. 282p.
9. COLI, J. **O que é Arte**. São Paulo, Editora Brasiliense, 1995. 132p.
10. COSTA, E. C. **Acústica Técnica**. São Paulo, Editora Blucher, 2003. 127p.
11. CUNHA, C. R. **A Atualidade do Pensamento de Cesare Brandi**. Resenha do livro "Teoria da Restauração" de Cesare Brandi, atividade de pesquisa complementar de mestrado, USP, 2007.
12. FRONER, Y. A. **Estudo Referente à Conservação de Objetos de Museus**. In: apostila de curso, Recriando o Museu, Secretaria da Cultura do Estado do Paraná, 2005.
13. GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo, Editora Nobel, 1ª edição, 1ª reimpressão, 1988. 111p.
14. GIOVANELLA, R. **Conservação e Restauro de Obras de Arte que utilizam a Madeira: Métodos de Preservação e Controle da Degradação**. In: 13º EVINCI-Evento de Iniciação Científica, Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, Livro de Resumos, vol. único, 2005, Curitiba.

15. GIOVANELLA, R. **Raios-X no Controle de Xilófagos em Obras de Arte de Madeira**. In: 14^o EVINCI- Evento de Iniciação Científica, Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, Livro de Resumos, vol. único, 2006, Curitiba.
16. KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of Wood Science and Technology**. Impresso na Alemanha, Editora Springer-Verlag - Heidelberg, vol. I, 1968. 592p.
17. LEPAGE, E. S. (ed.). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo, IPT, 1986, vol. I. 342p.
18. LEPAGE, E. S., (ed.). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo, IPT, 1986, vol. II. 366p.
19. LOPES, S. **Bio**. São Paulo, Editora Saraiva, 1999, volume único, 1^a edição. 607p.
20. MAYER, R. **Manual do Artista**. São Paulo: Martins Fontes, 1999, 2^a edição. 838p.
21. McNEILL, A. R. **The Invertebrates**. Cambridge, Cambridge University Press, 1979, 1^a edição. 562p.
22. MENDES, M.; SILVEIRA, L.; BEVILAQUA, F.; BAPTISTA, A. C. N. **Conservação- Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 2001. 336p.
23. MORESCHI, J. C. **Biodegradação da Madeira**. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal, sem data (a). Curitiba. 38p.
24. MORESCHI, J. C. **Produtos Preservantes de Madeira**. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal, sem data (b). Curitiba. 31p.
25. NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica- Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. São Paulo, Editora Blucher, vol. 2, 4^a edição revisada, 2002. 314p.
26. PONCE, R. H. **Madeira Serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas**. Anais do Seminário de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, 1995.
27. ROCHA, M. P. **Biodegradação e Preservação da Madeira**. Curitiba, Fupef, Série Didática, 2001. 94p.
28. ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serraria**. 2000. 185 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
29. RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados**. São Paulo, Editora Roca, 1996, 6^a edição. 1029p.

30. RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D.; FOX, R. S. **Zoologia dos Invertebrados**. São Paulo, Editora Roca, 2005, 7ª edição. 1145p.
31. SANTOS, E. **Os Insetos**. Belo Horizonte, Editora Itatiaia Limitada, Coleção Zoologia Brasílica, vol. 9, tomo I, 1982. 203p.
32. SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal – Adaptação e Meio Ambiente**. São Paulo, Editora Santos, 2002, 5ª edição. 611p.
33. SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **Física- Mecânica dos Fluidos, Calor, Movimento Ondulatório**. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1989.
34. SILVA, J. B. **Restauração: Teoria e História**. Nota de aula, Universidade Federal do Paraná, disciplina Restauração e Conservação Preventiva de Edifícios Históricos.
35. SILVEIRA BUENO: **Dicionário da Língua Portuguesa**. Editora FTD, Edição Revisada e Atualizada, São Paulo, 2000. 830p.
36. WAWZYNIAK, J. I. S. **Sobre o Conceito de Arte**. In.: Trabalhos Acadêmicos Apresentados à disciplina de Promoção Humana, 2008, Universidade Tuiuti do Paraná.
37. WILKS, H. (ed.). **Science for Conservators- An Introduction to Materials**. Londres, Publicado por The Conservation Unit, Conservation Science Teaching Series, reimpressão, 1996.
38. Website do **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis- Ibama**. <http://www.ibama.gov.br> [04 Março 2007].

ANEXOS

ANEXO I –	Identificação dos tratamentos utilizados no teste de sensibilidade por frequência e intensidade.....	115
ANEXO II –	Teste dos Sinais	116
ANEXO III –	Impacto gerado pelos tratamentos sonoros.....	119

ANEXO I - Identificação dos tratamentos utilizados no teste de sensibilidade por frequência e intensidade

Identificação	Frequência (Hz)	Afetou		Nível de Sensibilidade
		Sim	Não	
1	200	x		3
2	300	x		5
3	400	x		1
4	500	x		2
5	600	x		4
6	700	x		5
7	800		x	0
8	900		x	0
9	1000		x	0
10	1100		x	0
11	1200		x	0
12	1300		x	0
13	1400		x	0
14	1500		x	0
15	1600		x	0
16	1700		x	0
17	1800		x	0
18	1900		x	0
19	2000		x	0
20	2100		x	0
21	2200		x	0
22	2300		x	0
23	2400		x	0
24	2500		x	0
25	2600		x	0
26	2700		x	0
27	2800		x	0
28	2900		x	0
29	3000		x	0

ANEXO II - Teste dos Sinais

1. Tratamento 30 (300/700 Hz com quarto cristas)

H_0 : Não há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

H_1 : Há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

Dados: α de 5%
 p igual a 0,5
 Limite : $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$

	Quantidade de sinais			
	+ (Agitação)	- (Letargia)	0 (Sem Efeito)	
Estúdio	4	6	0	
Ateliê	0	4	0	
Reverberação I	0	4	0	
Reverberação II	1	3	0	
Total	5	17	0	22
Z_{calc}				-2,56

Como $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$ então:

Aceita-se H_0

2. Tratamento 31 (300/700 Hz com dez cristas)

H_0 : Não há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

H_1 : Há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

Dados: α de 5%
 p igual a 0,5
 Limite : $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$

	Quantidade de sinais			
	+ (Agitação)	- (Letargia)	0 (Sem Efeito)	
Estúdio	1	9	0	
Ateliê	0	4	0	
Reverberação I	0	4	0	
Reverberação II	0	4	0	
Total	1	21	0	22
Z_{calc}				-4,26

Como $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$ então:

Aceita-se H_0

3. Tratamento 32 (300/700/500 Hz com dez cristas)

H_0 : Não há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

H_1 : Há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

Dados: α de 5%
 p igual a 0,5
 Limite : $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$

	Quantidade de sinais			
	+ (Agitação)	- (Letargia)	0 (Sem Efeito)	
Estúdio	3	7	0	
Ateliê	1	3	0	
Reverberação I	0	4	0	
Reverberação II	0	4	0	
Total	4	18	0	22
Z_{calc}				2,98

Como $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$ então:

Aceita-se H_0

4. Tratamento 33 (300/700/500 Hz com cinco segundos)

H_0 : Não há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

H_1 : Há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

Dados: α de 5%
 p igual a 0,5
 Limite : $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$

	Quantidade de sinais			
	+ (Agitação)	- (Letargia)	0 (Sem Efeito)	
Estúdio	0	10	0	
Ateliê	0	4	0	
Reverberação I	1	3	0	
Reverberação II	1	3	0	
Total	2	20	0	22
Z_{calc}				-3,83

Como $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$ então:

Aceita-se H_0

5. Tratamento 34 (300/300 Hz com amplitude de 128-50)

H_0 : Não há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

H_1 : Há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

Dados: α de 5%
 p igual a 0,5
 Limite : $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$

	Quantidade de sinais			
	+ (Agitação)	- (Letargia)	0 (Sem Efeito)	
Estúdio	9	1	0	
Ateliê	4	0	0	
Reverberação I	4	0	0	
Reverberação II	3	1	0	
Total	20	2	0	22
Z_{calc}				3,84

Como $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$ então:

Aceita-se H_0

6. Tratamento 35 (700/700 Hz com amplitude de 128-50)

H_0 : Não há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

H_1 : Há diferença entre os tratamentos nos diferentes ambientes

Dados: α de 5%
 p igual a 0,5
 Limite : $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$

	Quantidade de sinais			
	+ (Agitação)	- (Letargia)	0 (Sem Efeito)	
Estúdio	9	1	0	
Ateliê	4	0	0	
Reverberação I	4	0	0	
Reverberação II	4	0	0	
Total	21	1	0	22
Z_{calc}				4,26

Como $-4,32 \leq Z_{\text{calc}} \leq 4,32$ então:

Aceita-se H_0

ANEXO IV – Impacto gerado pelos tratamentos sonoros

Para o cálculo da força de impacto foi utilizada a eq. 32

$$F_{imp.} = (m_1 + v_1^2)(m_2 + v_2^2) \quad (\text{eq. 32})$$

Onde m_1 é a massa de ar deslocada, m_2 é a massa da folha de papel vegetal e v_1 é a velocidade do ar e v_2 é a velocidade da folha de papel.

- Peso do ar

O volume de ar deslocado foi obtido através da medida das dimensões que separavam a fonte sonora e a folha de papel vegetal, resultando em;

$$V_{ar} = 0,07176m^3$$

que, através da relação abaixo, resultou numa massa de ar de;

M ³	peso (g)
1000	1,293
0,07176	M_{ar}

$$M_{ar} = 9,27 \times 10^{-5} g$$

$$M_{ar} = 9,27 \times 10^{-8} Kg$$

Assim,

	Massa (Kg)	Velocidade (m/s ²)	velocidade ²
ar (som)	$9,27 \times 10^{-8}$	340	115600
Folha	0,004	0	0

Resultando numa força de impacto de 0,010 N, onde o peso equivalente em Kg é dado pela razão desta força pela gravidade;

Força de Impacto (N)	Peso equivalente (Kg)	Peso equivalente (g)
0,010726	0,001093	1,093377