



Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - EBRAMEM 2006

30 de Julho a 02 de Agosto, São Pedro – SP

CEVEMAD/UNESP - IBRAMEM

USO DA PERFURAÇÃO CONTROLADA NA AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO DA MADEIRA EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS – ESTUDO DE CASO

Ângela do Valle (angeladovalle@ecv.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico

Ricardo D. Brites (rbrites@civil.uminho.pt), **Paulo B. Lourenço** (pbl@civil.uminho.pt)

Universidade do Minho – Departamento de Engenharia Civil

RESUMO: Este trabalho apresenta uma aplicação da técnica experimental de perfuração controlada como ferramenta auxiliar na estimativa do estado de deterioração de peças antigas de madeira. A inspeção visual é sempre necessária, mas às vezes não conclusiva. Nestes casos, o uso de uma técnica complementar contribui para uma melhor avaliação da seção residual da peça de madeira. Um método que possa ser aplicado de forma rápida, precisa e sem provocar danos na madeira é valioso instrumento no estudo de edifícios que se constituem patrimônio histórico a ser preservado. Entre as técnicas não-destrutivas, que podem ser aplicadas na estimação das características mecânica da madeira e de seu estado de integridade, está o método de perfuração controlada. Este ensaio mede a resistência do material à perfuração por uma broca com velocidade constante ajustada ao estado de conservação da madeira. O equipamento utilizado pelo Grupo de Alvenaria e Construções Históricas do Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal, é o Resistograph® modelo 3450. O principal objetivo deste trabalho é apresentar o potencial de uso do equipamento Resistograph® e a aplicação da técnica a um estudo de avaliação da deterioração da madeira conduzido por pesquisadores da Universidade do Minho em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina, durante um Projeto de Cooperação Internacional. Neste trabalho, a inspeção visual, por percussão e os ensaios de perfuração realizados são descritos, bem como o tratamento dos dados, e são apresentadas conclusões sobre a condição da madeira da estrutura e possível uso das peças avaliadas.

Palavras-chave: caracterização da madeira, métodos não destrutivos, resistograph, edificações antigas

EVALUATION OF TIMBER DECAY BY DRILLING TESTING IN ANCIENT BUILDINGS

ABSTRACT: This work presents the practical use of applying drilling testing in the estimate of decaying level in ancient timber pieces in service. The visual appraisal is always necessary but sometimes not conclusive. In this situation the aid of another technique allows to reduce the degree of uncertainty in an analysis of decay and residual sound section. A method that can evaluate the quality of the wood rapidly, accurately and without provoking damage is valuable in the case of historical building heritage. The non-destructive techniques that can be applied in the estimation of the mechanical characteristic of wood include the drilling resistance method. This test measures the resistance to the advance of a drill at an adjusted speed rate according the wood state. The equipment that the Masonry and Historical Constructions Group in the Department of Civil Engineering, University of Minho, has used is the Resistograph® Model 3450. The main objective of this work is to present a case study in evaluation of timber decay conducted by University of Minho research group with University of Santa Catarina as a partner during an International Cooperation Project. In this paper the visual, percussion and drilling tests affected are described, the data treatment and the attainment conclusions for the wood condition and possible safe use of timber pieces evaluated.

Keywords: timber characterization, non-destructive methods, resistograph, ancient buildings

1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia é cada vez mais evidente a preocupação com a qualidade e durabilidade das edificações. As diretrizes de projeto e execução prescrevem cuidados que aumentem as probabilidades de conservação da integridade física e mecânica das construções pelo período previsto para sua vida útil. Com esta finalidade, é recomendada a realização de inspeções periódicas que permitam a identificação de pontos de degradação no ciclo inicial, conduzindo a uma intervenção mais eficiente no ambiente construído. Porém, a prática de tais procedimentos de manutenção ainda não se tornou um hábito para humanidade, o que se reflete no mau estado de conservação das edificações em geral.

As anomalias decorrentes da conservação inadequada, principalmente das estruturas, podem conduzir a uma situação de risco para os usuários e para a preservação do próprio patrimônio edificado. Na situação da edificação apresentar valor histórico agregado, as exigências de manutenção são ainda maiores do que em relação a uma construção nova. As soluções para reparação ou melhorias devem respeitar as características originais da construção na medida do possível. Para identificação e caracterização do estado de conservação de uma estrutura, são necessários ensaios que envolvem a retirada de um corpo-de-prova, denominados destrutivos. No caso de uma edificação histórica, não é concebível a retirada de porções do material estrutural para ensaios de caracterização, pois esta atitude configura a depredação do patrimônio da sociedade. A opção viável nesta situação é o uso de ensaios não destrutivos que auxiliam na avaliação das condições e propriedades de um material, sem prejuízo de seu uso futuro. Entre estes tipos de ensaios minimamente invasivos aplicáveis às estruturas de madeira, entre as técnicas disponíveis, este trabalho aborda a perfuração controlada e a penetração por impacto. Os equipamentos utilizados são o Resistograph® e o Pilodyn®, respectivamente, de propriedade do Grupo de Alvenaria e Construções Históricas do Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o estado de degradação de uma estrutura de madeira do século XVIII por meio do uso de técnicas não destrutivas, como apoio ao projeto de restauração do Laboratório Chimico, situado no Pólo I da Universidade de Coimbra, no Largo Marquês de Pombal, Coimbra, Portugal. A equipe responsável pela avaliação é composta por membros da Universidade do Minho (UMINHO) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ambas as instituições com pesquisadores experientes no uso de técnicas não destrutivas aplicadas a madeiras.

2. OBJETO DE ESTUDO: O LABORATÓRIO CHIMICO

O Laboratório Chimico está situado no Pólo I da Universidade de Coimbra, no Largo Marquês de Pombal, Coimbra, Portugal. Foi criado pela Reforma Pombalina de 1772 e atualmente o edifício do século XVIII passa por uma reforma, tendo em vista a criação de um Museu de Ciências que ocupará este antigo espaço. O edifício possui uma área bruta de 1.460m² e uma área em reforma de 400 m² (REITORIA..., 2005). A empresa responsável pelos trabalhos de reestruturação do antigo prédio do Laboratório Chimico constatou que a estrutura de cobertura da Ala A1 apresentava algumas peças com avançado grau de deterioração. Com o propósito de preservar ao máximo o caráter histórico da edificação, para desenvolvimento do projeto de restauro da cobertura era necessário avaliar qual o grau de comprometimento da estrutura e avaliar a viabilidade do uso de técnicas de reforço antes de optar pela substituição completa das peças. Com este objetivo foi solicitado à Universidade do

Minho o presente estudo do estado de degradação das tesouras de madeira da estrutura de cobertura da Ala A1 do Laboratório Chimico.



Figura 1 – Fachada do Laboratório Chimico da Universidade de Coimbra

A cobertura da Ala 1 do Laboratório Chimico possui três águas, com revestimento em telhas cerâmicas. A estrutura principal do telhado é composta por quatro tesouras de madeira, com 14,20 metros de vão livre. A Figura 2 identifica a posição das Tesouras 1 a 4 na cobertura, enquanto a Figura 3 apresenta corte transversal AB onde é possível observar a geometria tipo das tesouras.

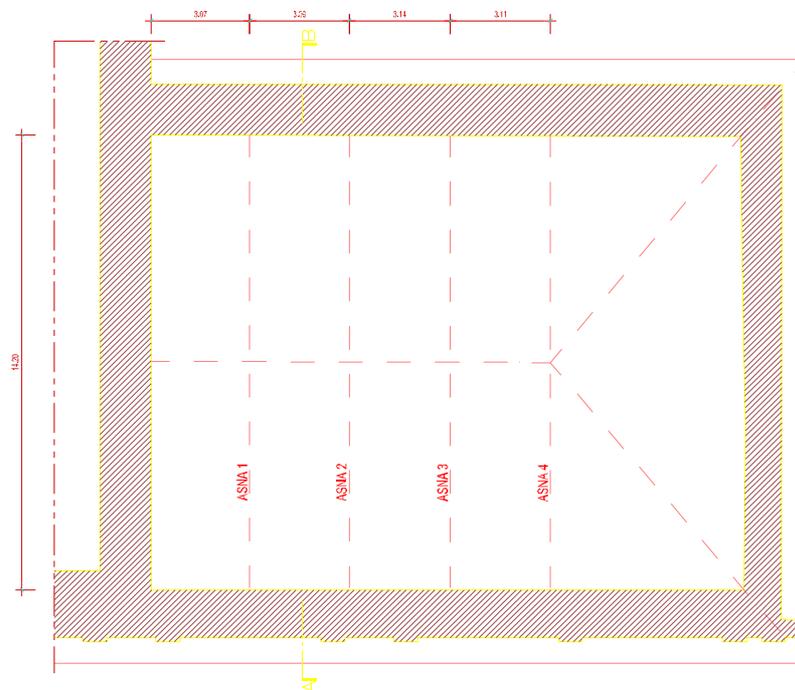


Figura 2 – Planta Baixa da Ala 1 com indicação da posição das tesouras na edificação (sem escala, desenhos fornecido pela Empreiteira responsável pela obra)

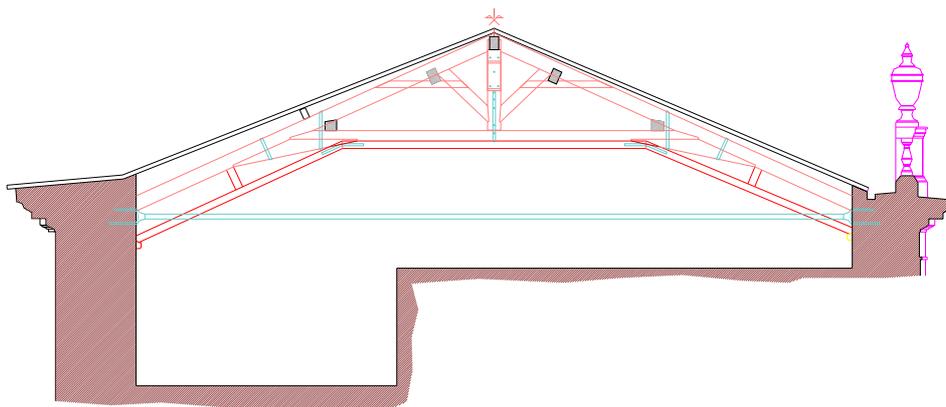


Figura 3 – Corte Transversal AB da Ala 1 (sem escala, desenhos fornecido pela Empreiteira responsável pela obra)

A estrutura de madeira foi removida da cobertura pela Empresa responsável pela obra. O madeiramento de suporte das telhas (ripas e caibros) foi descartado e as quatro tesouras foram colocadas ao nível do solo no local da obra do Laboratório Chimico. A remoção das tesouras foi realizada de maneira que se preservasse o estado que a estrutura se encontrava na posição original.

A espécie de madeira das tesouras foi identificada pela Empresa que contactou a UMINHO. A madeira foi identificada como Pinho de Riga (nome vulgar), que é uma variedade da espécie *Pinus canariensis Sweet*, cujas espécies se diferenciam pela quantidade de resina existente. O nome Pinho de Riga vem da semelhança ao Pinho Silvestre proveniente dos Países Bálticos que era embarcado no Porto de Riga, na Letônia (CASASÚS, 1997). Esta espécie possui características anatômicas de fibra reta e grã fina, com boa trabalhabilidade, ausência de problemas de secagem e boas propriedades de impregnação por substâncias preservativas.

As seções transversais das peças das tesouras nas seções que apresentavam menor grau de deterioração eram de 19 cm x 28 cm, exceção às diagonais que possuíam seção de 19 cm x 22 cm.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as Tesouras 1, 2, 3 e 4 como se encontravam na obra por ocasião da inspeção. Observa-se que as Tesouras 2 e 3 sofreram intervenções no passado, com a colocação de peças de reforço na parte inferior, provavelmente devido a anomalias ou insuficiência de resistência ou rigidez da estrutura existente perante os carregamentos aplicados.



Figura 4 – Aspecto da Tesoura 2 (frente) e Tesoura 1 (atrás) no canteiro de obra

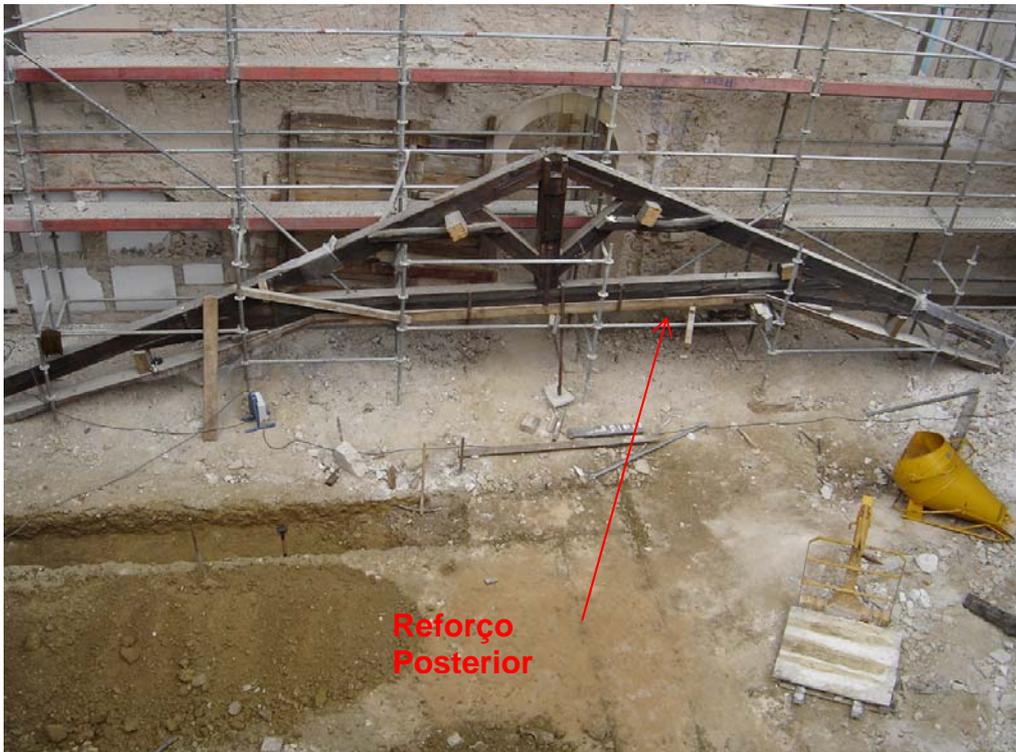


Figura 5 – Aspecto da Tesoura 3 no canteiro de obra



Figura 6 – Aspecto da Tesoura 4 no canteiro de obra

3. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

A escolha dos métodos para os ensaios em campo foi feita de forma a preservar ao máximo o material da estrutura, pois caso as conclusões do estudo indicassem a viabilidade de uso das tesouras, o reaproveitamento das peças não estaria comprometido em decorrência da inspeção.

3.1. Organização das informações coletadas em campo durante a inspeção

Para identificação e localização das anomalias durante a inspeção, cada Tesoura foi dividida em peças: Pernas, Linha, Diagonais, Montantes e Cunhas. Como a geometria das Tesouras é simétrica, para localização das peças em relação à posição original na cobertura, adotaram-se como referência os pontos cardeais: Norte e Sul. A numeração das peças foi feita conforme a identificação da Tesoura: por exemplo, a Linha da Tesoura 1 foi identificada por L1, as Pernas por P1.1 e P1.2, o Montante, que é de seção composta por três peças, por M1.1, M1.2 e M1.3, as Diagonais por D1.1 e D1.2 e as Cunhas situadas nas ligações entre pernas e linhas por C1.1 e C1.2 (ver Figura 7).

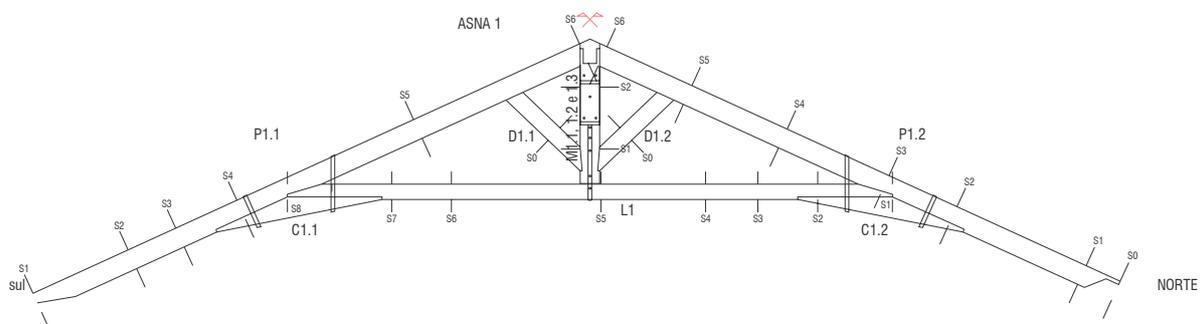


Figura 7 – Convenção para localização das peças em uma Tesoura

Durante a inspeção, cada uma das peças foi dividida em várias seções transversais: S1, S2 e assim sucessivamente. As seções foram escolhidas com base nos resultados da inspeção

visual e por percussão. Sempre que havia alterações significativas no estado de conservação do material, foi atribuída uma nova seção identificada pela letra S associada a um número.

3.2. Técnicas utilizadas no levantamento do estado de degradação

Ao longo das peças das tesouras, em todas as seções, a existência de degradação e sua extensão foram analisadas por meio de técnicas tradicionais, tais como percussão com martelo de silicone, furador e formão. Nos pontos onde a primeira inspeção não permitiu a identificação do tipo e da extensão da degradação, técnicas não tradicionais como perfuração controlada e penetração por impacto foram usadas.



Figura 8 – Uso de ferramentas de inspeção na Tesoura 2

3.3. Inspeção com perfuração controlada (Resistograph®)

O ensaio de perfuração controlada consiste da introdução de uma agulha que realiza um micro furo, com uma velocidade constante, medindo a resistência oferecida pela madeira à rotação e à progressiva penetração (ver Figura 9). O equipamento utilizado pela UMINHO é o Resistograph® 3450 que possui uma agulha de 3 mm de diâmetro na extremidade e 1,5 mm no fuste. O perfil da peça de madeira é registrado em papel ou gravado em memória interna do equipamento para posterior passagem para computador. Este registro permite detectar zonas da madeira com variações anormais de densidade devidas a discontinuidades físicas (fendas ou degradação biótica) e estimar a massa volumétrica da madeira mediante a calibração para a espécie, o teor de água e a velocidade de penetração. Ao início da inspeção foram realizados furos com esta técnica em peças de madeira da própria estrutura sob análise, portanto de mesma espécie vegetal, que aparentemente se encontravam em boas condições, de forma a servir de referência para a posterior análise das seções degradadas.



Figura 9 – Uso do Resistograph® na Tesoura 2

A Figura 10 apresenta como exemplo de saída de resultado o perfil registrado pelo Resistograph® 3450 ao perfurar a seção da Perna 2.2, Seção 2, na direção transversal às fibras da madeira. A extensão da peça perfurada é de 20 cm, indicada na escala do eixo das abscissas, enquanto o eixo das ordenadas apresenta a força necessária para a agulha perfurar a madeira. A faixa que está com destaque em vermelho, os primeiros 2 cm de penetração, apresenta uma força média de perfuração mais baixa que o restante da seção. Esta redução da força de perfuração é o parâmetro que indica a profundidade da degradação, permitindo a avaliação da seção residual em estado são da madeira.

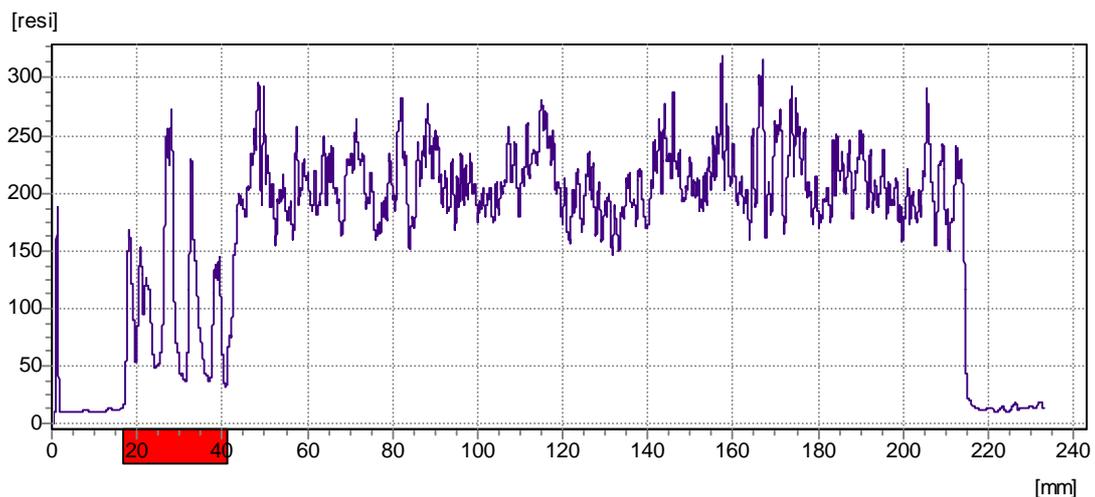


Figura 10 – Exemplo de perfil gerado pelo Resistograph® para Perna 2.2 na Seção 2 – Diagrama Força de perfuração x Profundidade de penetração na madeira

3.4. Inspeção com penetração por impacto (Pilodyn®)

A técnica de ensaio de penetração por impacto consiste na introdução de um pino metálico na madeira por meio de impacto com energia conhecida. A profundidade da penetração na madeira é inversamente proporcional à dureza do material na direção transversal. A profundidade de penetração deste pino pode constituir uma medida do grau de degradação da madeira causada por fungos de podridão (degradação associada a fenômenos de umidificação ocasional ou permanente da madeira). O equipamento usado pela UMINHO é o Pilodyn® (ver Figura 11) que possui um pino com 2,5 mm de diâmetro.



Figura 11 – Equipamento de penetração ao impacto Pilodyn®

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. Resultado da inspeção

As quatro tesouras apresentam um estado avançado de deterioração, com sinais de degradação por microrganismos, tais como fungos apodrecedores, e por insetos xilófagos, do tipo brocas. Também se constatou a ruptura de origem mecânica em algumas seções pela presença de fendas, em alguns casos, muito profundas (até sete centímetros de profundidade).



Figura 12 – Exemplo de estado avançado de deterioração na Perna 3.2 (Esq) e de ruptura na Linha da Tesoura 3 (Dir)

Nas seções em que se constatou ocorrência de degradação, investigou-se a extensão da área comprometida, complementando a inspeção visual com o Pilodyn® e o Resistograph®, quando necessário. Os resultados foram registrados em caderneta de campo e posteriormente comparados aos perfis obtidos com a perfuração controlada. Após a análise do estado de degradação de cada uma das seções, organizou-se as informações sob a forma de desenhos das seções transversais e de vistas de cada Tesoura, indicando com legendas a ocorrência e o tipo de problema constatado: degradação provocada por fungos, por insetos ou por fungos e insetos, ocorrência de fendas. A Figura 13 ilustra a vista da Tesoura 1, com a representação da posição das seções analisadas e o estado de degradação constatado em campo. Na Figura 14 estão as representações das seções transversais de todas as peças que compõem a Tesoura 1, com a indicação da área comprometida pela degradação. Na representação das seções a convenção da posição é Face Oeste na parte esquerda e Face Leste na parte direita. Por exemplo, para a Tesoura 1, Perna 1.2, foram analisadas 7 seções, cujas posições estão indicadas na Figura 13 e estado de degradação na Figura 14.

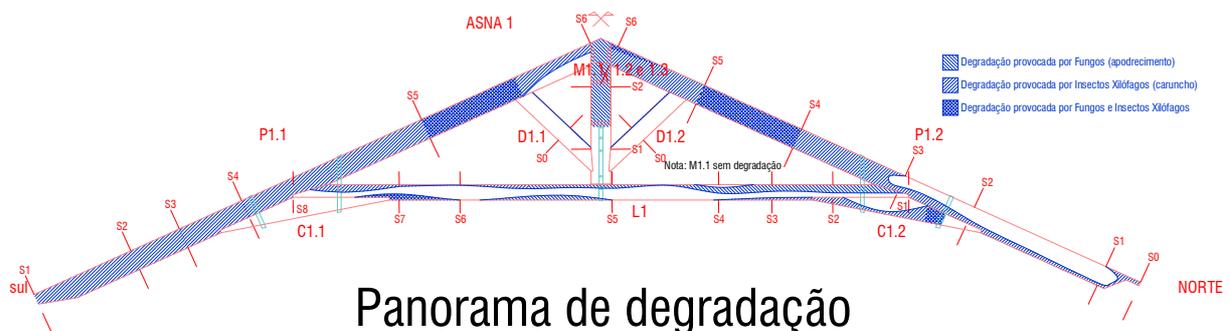


Figura 13 – Vista com identificação das degradações na Tesoura 1

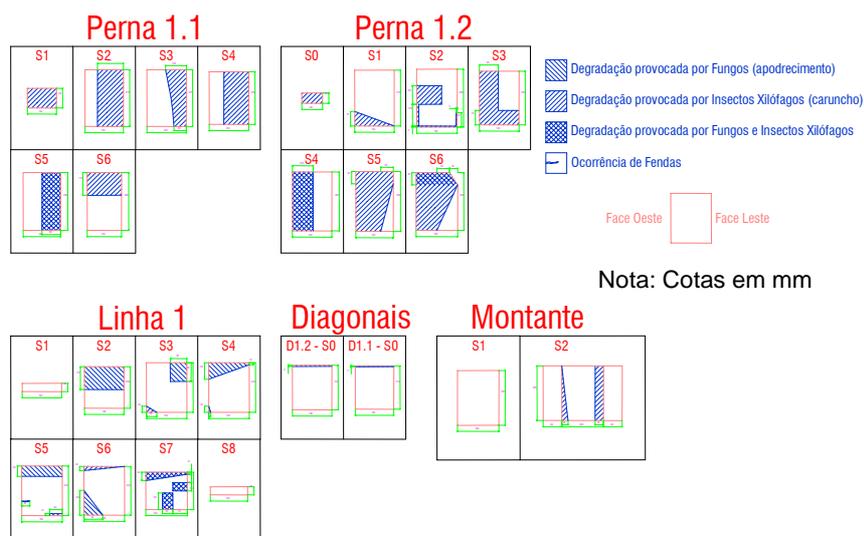


Figura 14 – Extensão das degradações nas seções da Tesoura 1

Com o objetivo de organizar os resultados obtidos da análise para que servissem de parâmetros em posterior avaliação da viabilidade de aproveitamento das peças, a ser desenvolvido pela Empresa responsável pelo Projeto de Reforço da Estrutura, optou-se por classificar as peças das tesouras quanto ao grau de degradação. Escolheram-se 4 classes, em ordem crescente de comprometimento da seção: 0% - 5% (menos degradada), 5% - 20%, 20% - 50% e 50% - 100% (mais degradada). A classificação foi atribuída a partir do cálculo da área de seção degradada das seções transversais, como ilustra a Tabela 1 para a Perna 1.2 da Tesoura 1.

Tabela 1 – Área degradada (cm²) da seção transversal da Perna 1.2

Secção	Área Total	Área Degradada	% Sã	% Degr
S0	50	50	0%	100%
S1	513	66,5	87%	13%
S2	546	125	77%	23%
S3	546	131,5	76%	24%
S4	494	304	38%	62%
S5	475	250	47%	53%
S6	541,5	250	54%	46%
S7	476	224	53%	47%
S8	522	453	13%	87%
S9	532	402	24%	76%
S10	560	328	41%	59%

A cada classe de degradação foi atribuído um código de cores. A legenda de cor vermelha corresponde ao grau mais grave de degradação (50% - 100% da seção comprometida) enquanto a legenda de cor preta representa o grau mais leve de degradação (0% - 5% da seção). Esta classificação por cores foi aplicada a cada uma das quatro tesouras investigadas, conforme exemplifica a Figura 15, onde se observam as áreas em vermelho localizadas

principalmente nas pernas em regiões próximas às ligações com montantes, com linhas e nos apoios nas alvenarias.

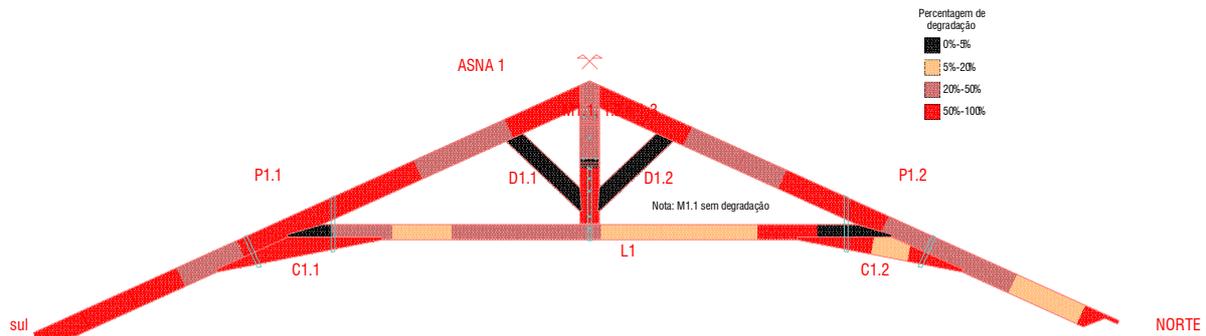


Figura 15 – Vista com grau de degradações na Tesoura 1

Estas formas de representação foram feitas para as quatro tesouras e estão apresentadas para a Tesoura 2 nas Figuras 16, 17 e 20.

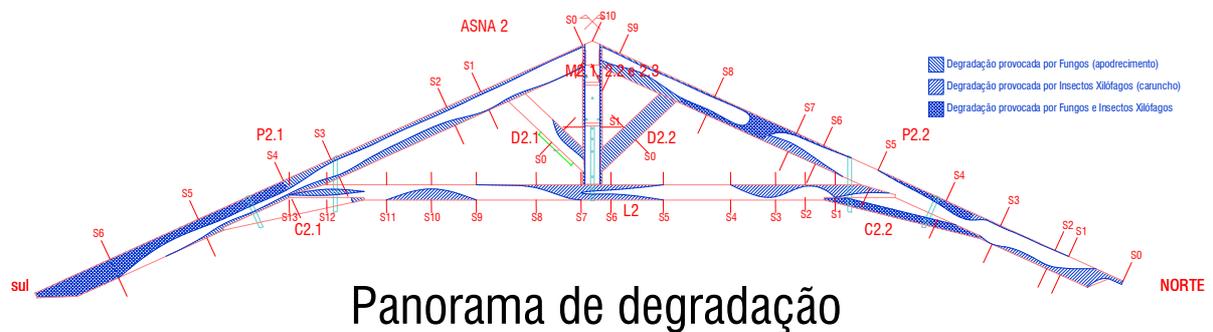


Figura 16 – Vista com identificação das degradações na Tesoura 2

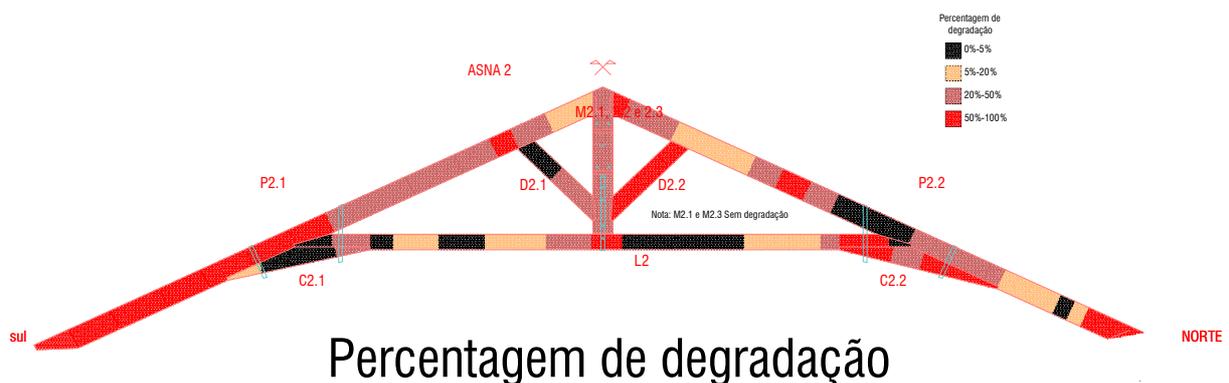


Figura 17 – Vista com grau de degradações da Tesoura 2

Ao todo foram executados 32 furos com o equipamento Resistograph® nas 4 tesouras. Quando necessário, o resultado da inspeção visual e da percussão foram complementados com o uso do Pilodyn®, que permite avaliar se a degradação constatada era superficial, principalmente no caso de ataque de fungos. Se o uso do Pilodyn® não permitia concluir sobre a profundidade da região afetada, aplicava-se o Resistograph®. As Figuras 18 e 19 ilustram duas de várias situações em que o perfil obtido com a perfuração controlada ao longo da profundidade da peça possibilitou a avaliação da porção degradada da seção transversal.

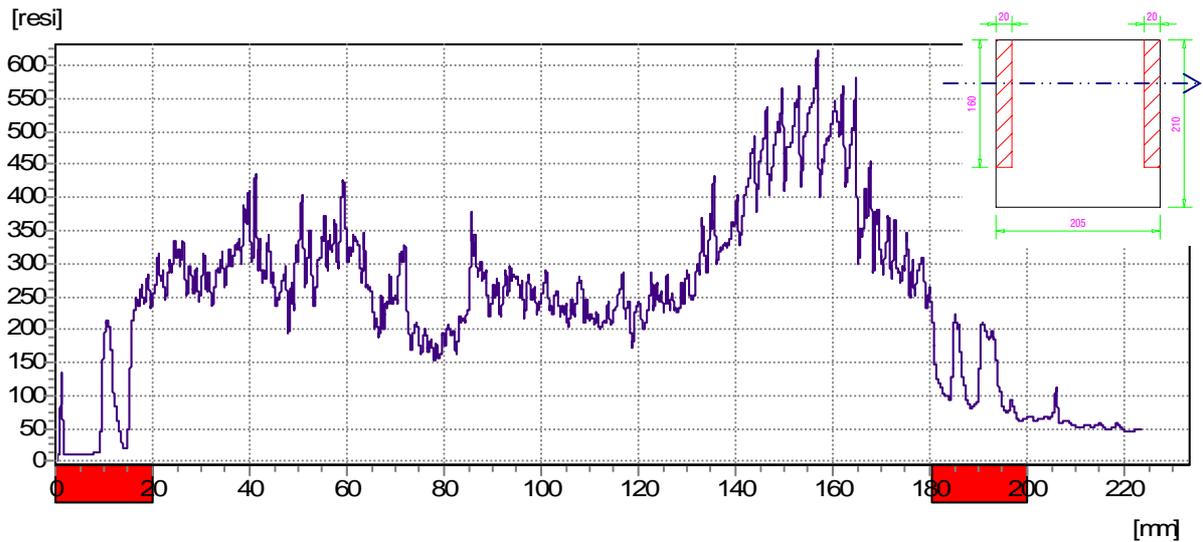


Figura 18 – Perfil gerado pelo Resistograph® para Linha 2 Seção 8 – Constatação da profundidade da camada degradada nas faces laterais

Na Figura 18, a seção S8 na Linha 2 da Tesoura 2 apresentava degradação por insetos constatada por meio de inspeção visual. A profundidade da área atingida pode ser observada no perfil do Furo 10, feito na direção horizontal ao longo da dimensão de 20,5 cm. Na extensão dos dois centímetros iniciais e finais do perfil representado no diagrama da Figura 18, constata-se que a resistência registrada pelo aparelho é de valor inferior que nos demais pontos do perfil. Na Figura 19, o furo feito com o Resistograph® na Seção S4 da perna 1.2 da Tesoura 1 possui direção vertical, com extensão de 28 cm. A análise do perfil permitiu identificar uma porção interna da seção transversal comprometida com galerias, que pareciam ser superficiais a partir da inspeção visual.

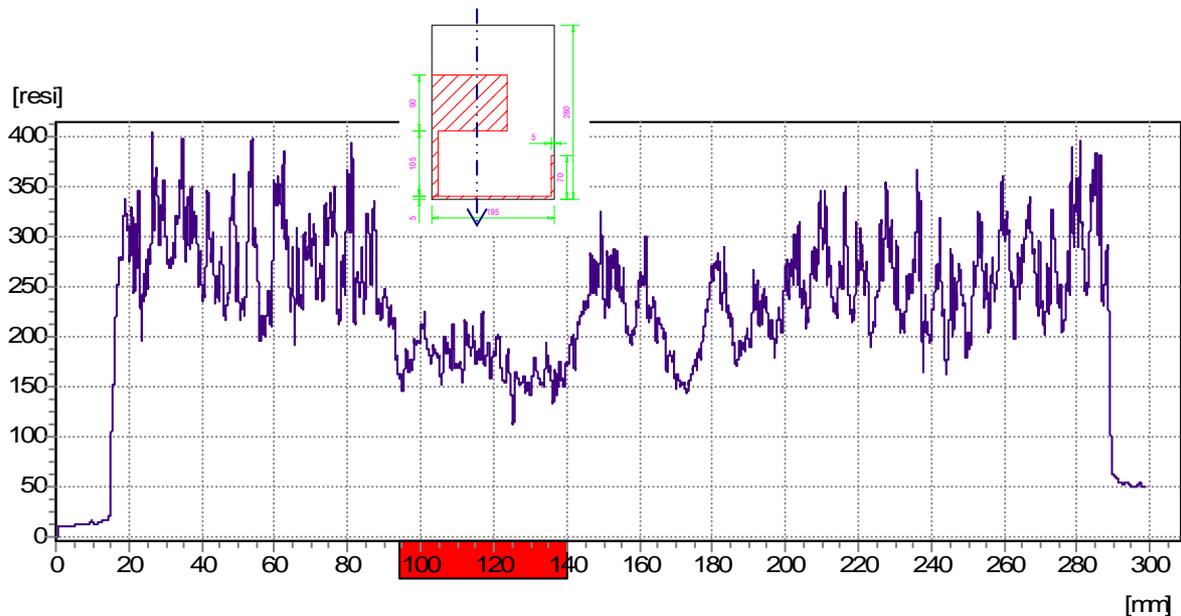


Figura 19 – Perfil gerado pelo Resistograph® para Perna 1.2 Seção 4 – Constatação de área interna degradada por insetos

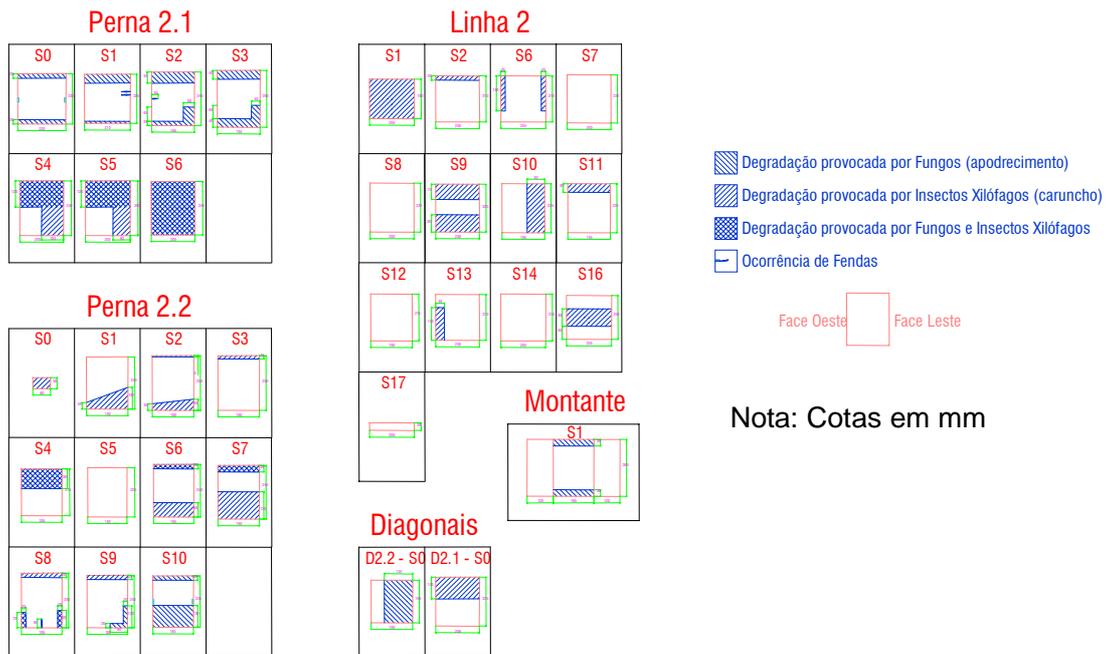


Figura 20 – Extensão das degradações nas seções da Tesoura 2

As quatro tesouras inspecionadas apresentam sérios sinais de comprometimento, sendo possível o uso parcial de algumas peças. Para que as tesouras possam ser reaproveitadas com função estrutural, é imprescindível a execução de reforços. As Figuras 21 a 25 ilustram o quão extensa é a degradação das Tesouras 3 e 4.

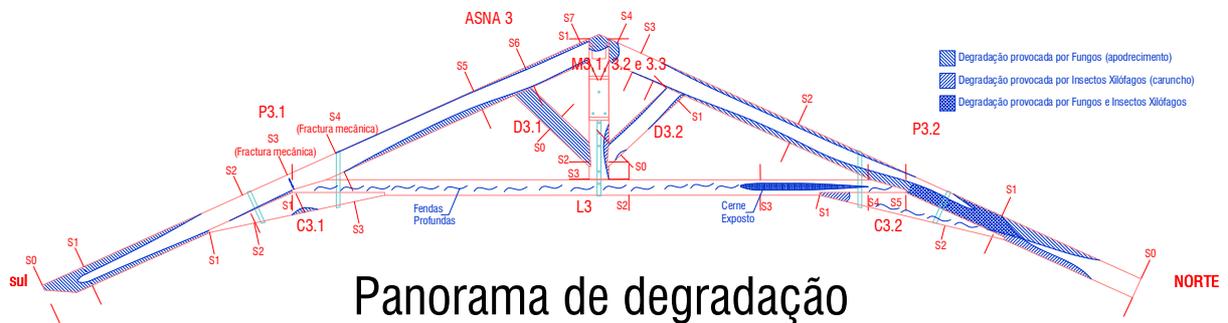


Figura 21 – Vista com identificação das degradações na Tesoura 3

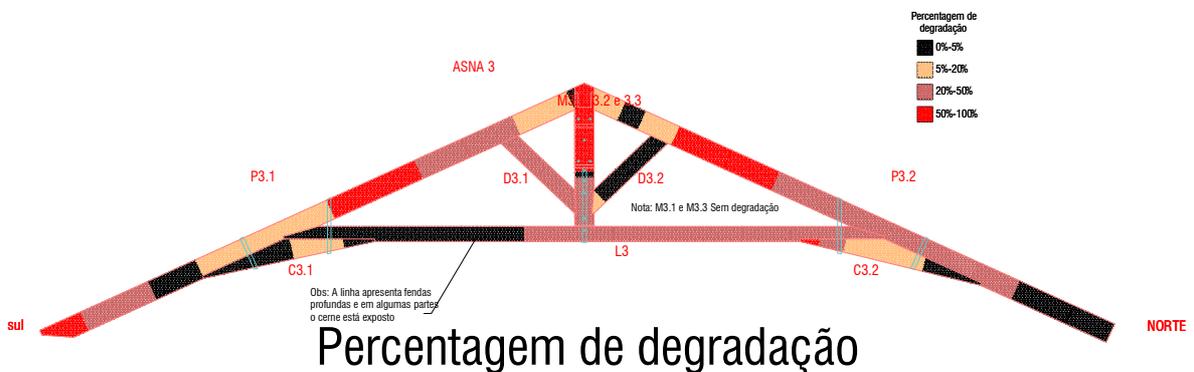


Figura 22 – Vista com grau de degradações da Tesoura 3

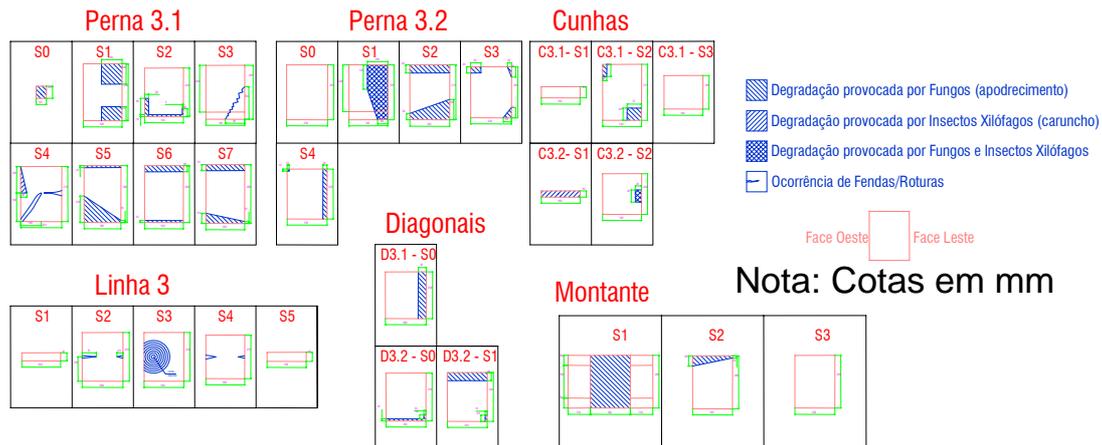


Figura 23 – Extensão das degradações nas seções da Tesoura 3

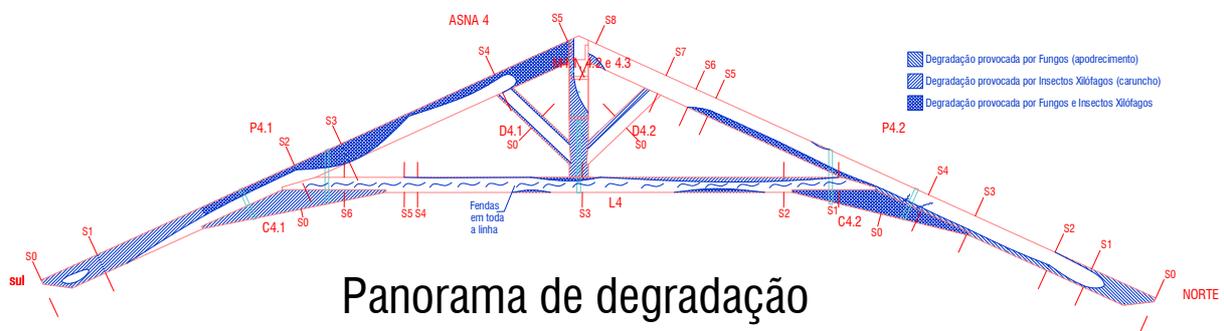


Figura 24 – Vista com identificação das degradações na Tesoura 4

No relatório de inspeção, apresentado à Empresa que procurou o auxílio da UMINHO na avaliação das condições de uso das tesouras, estão apresentados os resultados com maiores detalhes que aqui neste trabalho. A tesoura que apresenta melhor estado de conservação é a Tesoura 3, porém com grande parcela de material comprometido por degradação.

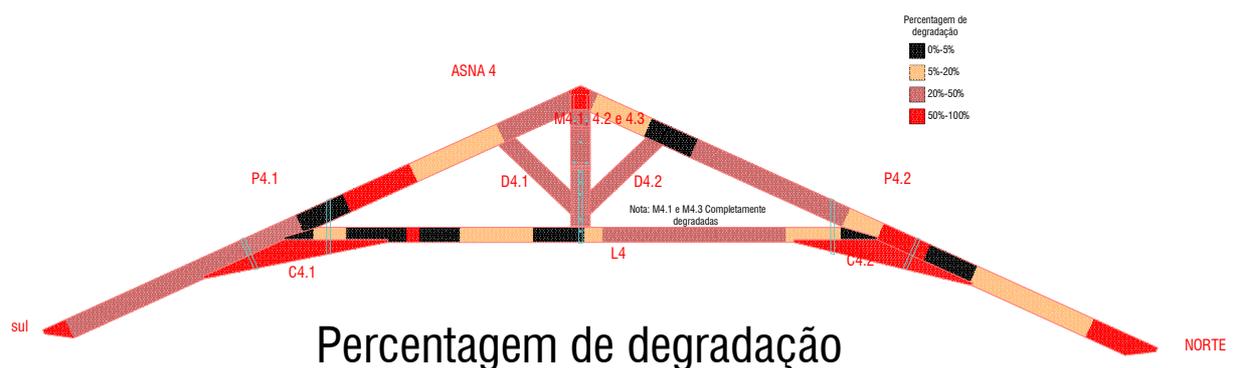


Figura 25 – Vista com grau de degradações da Tesoura 4

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho comprovou a utilidade do uso do equipamento de perfuração controlada para avaliação do estado de integridade de seções transversais, quando não é possível concluir apenas com base em inspeção visual e por percussão. Por comparação de perfis de diferentes furos na mesma peça pode-se avaliar a extensão de uma podridão ou confirmar a ocorrência

de galerias de insetos. Na situação específica de estruturas antigas de valor cultural, onde é interessante a preservação dos elementos originais ou, pelo menos, a maior parte possível da peça, uma maior exatidão na determinação da seção residual torna-se imprescindível, o que é possibilitado com o uso da técnica de perfuração controlada.

No entanto, mais pesquisas são necessárias para que se possam relacionar os resultados do Resistograph® aos valores de resistência ou densidade da madeira. A posição dos anéis de crescimento, a variação de propriedades inerente ao material madeira e a influência da umidade são fatores que influenciam os resultados dos testes.

De forma geral, as Tesouras inspecionadas não apresentam condições de serem empregadas como estrutura sem passar por uma ação significativa de reabilitação e reforço. A viabilidade técnica e econômica desta ação é de responsabilidade do projetista de estruturas envolvido no projeto, não estando contemplada no presente trabalho.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos de pós-doutoramento para o desenvolvimento dos trabalhos no âmbito da Cooperação Internacional UFSC e UMINHO.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASASÚS, A.G. e outros (1997) - **Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario**. AITIM, Madrid, Espanha.

LOURENÇO, P. B.; VALLE, A.; BRITES, R.D. (2005). **Levantamento do estado de degradação das Asnas da Cobertura do Laboratório Chimico – A1, Coimbra**. Relatório Técnico N^o 05-DEC/E-15. Guimarães, Portugal. Julho, 2005.

REITORIA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Disponível em: <<http://www.uc.pt/reituc/camp/e3.html>>. Acesso em: 05 jul 2005.

RESISTOGRAPH - Model 3450. Drill resistance measurements in standing trees, construction lumber, poles and wooden materials, Operating instructions and warranty terms and User manual, Frank Rinn, Heidelberg, Germany.