

**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Sérgio Alexandre da Silva Ribeiro

# **Incerteza da Inspeção Visual na Avaliação de Segurança de Estruturas de Madeira**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação

Professor Doutor José Campos e Matos

Doutor Hélder S. Sousa



## **AGRADECIMENTOS**

A primeira palavra de agradecimento vai para os orientadores desta tese, o Prof. José Matos e o Doutor Hélder Sousa sendo que este último propulsou grande conhecimento não só do tema da dissertação, mas também conhecimentos de ferramentas de software. Agradeço-lhes o tema proposto, e por me permitir obter novos conhecimentos numa área onde não tinha formação prévia. Possibilitaram-me um semestre, sem dúvida de aprendizagem, descoberta e desenvolvimento de uma temática pela qual tenho particular interesse. Agradeço todo o conhecimento transmitido e partilhado, assim como a ajuda e disponibilidade que sempre mostraram; e por todo o empenho e contributo para que o objetivo desta dissertação fosse alcançado.

Ao Professor Rui Ramos, agradeço principalmente pela disponibilidade e paciência demonstradas, assim como pela ajuda em todas as questões e problemas por mim colocados. Agradeço também ao laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Minho e sua equipa, e ao meu colega de curso João Moreira.

Por último, à minha família e amigos por estarem sempre presentes quando preciso.



## RESUMO

A madeira é um dos materiais mais presentes na construção antiga, sendo encontrada em diversas formas estruturais, e podendo apresentar diferentes estados de conservação tendo em conta a sua idade e durabilidade. Para avaliar a segurança de estruturas existentes em madeira, o primeiro passo a considerar é a inspeção visual dos seus elementos. Durante uma inspeção visual, os diferentes defeitos naturais da madeira (nós, fissuras, desvio das fibras) são caracterizados e catalogados. Assim, é fundamental que a incerteza associada à realização de uma inspeção visual por técnicos diferentes possa ser contabilizada e quantificada. Atualmente em Portugal, as normas de inspeção visual para madeira são escassas e não consideram elementos já existentes em obra, sendo assim necessário perceber se outras normas de inspeção visual podem ser interpretadas de forma semelhante.

Nesta dissertação, a primeira fase corresponde à análise do estado da arte tendo em conta as normas existentes para inspeção visual e classificação de elementos de madeira. Após definidos os parâmetros de avaliação, foi selecionada uma norma de inspeção para servir de base a uma inspeção visual a elementos de madeira existentes. A inspeção foi realizada por elemento e por secções de 40 cm de comprimento, permitindo assim obter uma classificação global e local. Numa terceira fase, foi analisado uma base de dados de inspeções visuais, previamente realizadas aos mesmos elementos de madeira, permitindo assim aferir sobre a variabilidade de resultados quando considerados diferentes inspetores. Nessa análise incluiu-se a variabilidade dos resultados através de testes e parâmetros estatísticos, determinando o erro da medição (incerteza) através de normas definidas para esse efeito. Na fase final, a incerteza da inspeção visual foi incluída numa análise de segurança de uma estrutura de madeira através de uma análise de diferentes cenários de inspeção visual, nomeadamente através de diferentes dimensões de nós. Devido à natureza estatística do erro, é considerada uma análise probabilística da estrutura através da modelação dos parâmetros de resistência e solicitação, através de variáveis aleatórias num contexto de análise de fiabilidade.

O resultado deste trabalho é a quantificação da incerteza (erro de medição) inerente ao processo de inspeção visual de elementos de madeira atendendo à análise de uma base de dados pré-existentes. Essa incerteza é posteriormente utilizada num contexto de análise de segurança de uma estrutura de madeira.

*PALAVRAS CHAVE:* classificação visual, classe de qualidade, classe de resistência, ensaios não destrutivos, normas; madeira



## **ABSTRACT**

Wood is one of the most common materials found in old constructions; it can be found in various structural formats and with different levels of preservation, according to its age and durability. The first step to evaluate the safety of existing wooden structures is a visual inspection to its elements. During a visual inspection, the various natural defects of wood (knots, fissures, fibre deviation) are described and catalogued. Therefore, it is crucial to account for and quantify uncertainties derived from a visual inspection, made by different technicians. In Portugal, standards for visual inspections to wood are currently very limited and do not account for onsite elements; it becomes thus necessary to understand if other visual inspection rules can be interpreted in a similar manner.

The first part of this thesis is dedicated to the state of the art analysis, considering existing rules for visual inspection and grading of timber elements. Once evaluation parameters were defined, an inspection standard was selected as a basis for a visual inspection to existing timber elements. The inspection was done per element and by 40 cm long sections, which allowed for a global and local classification.

The third part is the analysis of a database of previous visual inspections carried out to the same elements, which enabled to determine dissimilarities in terms of results, taking into account different inspectors. That analysis included those results' dissimilarities through statistical tests and parameters, as well as measurement errors (uncertainty) through predefined standards made for that purpose. The final part comprises the uncertainty in visual inspection in a safety analysis to a timber structure through the analysis of different visual inspection scenarios, namely over different knot ratios. Because of the statistical nature of error, a probability analysis of the structure is considered, by modelling resistance and solicitation parameters via random variables in a context of a reliability analysis.

The result of this work is the quantification of uncertainty (measurement error) that is inherent to the process of visual inspection of timber elements, considering the analysis of a pre-existing database, where that uncertainty is used in a context of a safety analysis to a timber structure.

**KEYWORDS:** visual classification, quality class, resistance class, non-destructive tests, standards; timber



# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Metodologia.....	2
1.3 Organização da dissertação .....	3
2. ESTADO DA ARTE .....	4
2.1. Inspeção visual .....	4
2.2 Normas de inspeção.....	6
2.2.1. Incerteza.....	7
2.2.2. Exemplos .....	8
2.3 Comparação .....	9
2.3.2 Avaliação da resistência dos elementos de madeira.....	11
2.3.3 Como avaliar os defeitos .....	12
2.4 Conclusões.....	25
3. INSPEÇÃO VISUAL A ELEMENTOS EXISTENTES DE MADEIRA .....	26
3.1 Introdução.....	26
3.2 Resultados da inspeção.....	27
3.3 Conclusões.....	32
4. AVALIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS EXISTENTES.....	34
4.1 Introdução.....	34
4.2 Base de dados .....	34
4.3 Análise dos dados .....	35
4.4 Probabilidade de detecção de um defeito .....	38
4.5 Comparação com inspeção visual prévia.....	39
4.6 Análise da dimensão do elemento .....	41
4.7 Conclusões.....	43
5. INCERTEZA NA INSPEÇÃO VISUAL E SEUS ERROS.....	45
5.1 Introdução.....	45
5.2 Normalização e conceitos básicos .....	46
5.3 As várias possibilidades de Incerteza .....	49
5.4 Incerteza-padrão .....	49
5.5 Aplicação à base de dados de inspeções visuais.....	51
5.6 Conclusões.....	56

6. CASO DE ESTUDO .....	57
6.1 Introdução.....	57
6.2 Fiabilidade em estruturas de madeira .....	57
6.3 Implementação da variabilidade da inspeção visual.....	59
6.4 Resultados e discussão .....	62
7. CONCLUSÕES .....	65
7.1 Conclusões do trabalho efetuado.....	65
7.2 Desenvolvimentos futuros .....	67
REFERÊNCIAS .....	69
ANEXOS .....	72
ANEXO 1 - Fichas da inspeção visual .....	72
ANEXO 2 - Resultados da inspeção individual (capítulo 3).....	74
ANEXO 3 - Base de dados - distribuição de inspetores por elemento.....	74
ANEXO 4 - Defeitos e classificação (amostra de 5 inspetores).....	75
ANEXO 5 - Comparação com os inspetores .....	80
ANEXO 6 - Média do Dmin (amostra de 5 inspetores) .....	86
ANEXO 7 - Total da média de todos os inspetores.....	91
ANEXO 8 - Total do coeficiente de variação.....	93
ANEXO 9 - Total do desvio padrão .....	95
ANEXO 10 - Análise da influência da largura.....	97

# 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais presentes na construção antiga, sendo encontrada em diversas formas estruturais, e podendo apresentar diferentes estados de conservação tendo em conta a sua idade e durabilidade. Para avaliar a segurança de estruturas existentes em madeira, o primeiro passo a considerar é a inspeção visual dos seus elementos. Este passo é fundamental e é uma peça chave para toda a restante análise.

Durante uma inspeção visual, os diferentes defeitos naturais da madeira (nós, fissuras, desvio das fibras) são caracterizados e catalogados. No entanto, existe uma lacuna de experiência de técnicos aptos para a realização destas inspeções visuais, que é amplificada por uma crescente procura e tendência para a reabilitação e conservação do património construído. Para além da dificuldade em inspecionar elementos de madeira no local, a inspeção visual é sempre afetada pela experiência de quem a realiza e isso poderá levar ao descrédito desta técnica na avaliação da segurança de uma estrutura. Assim, é fundamental que a incerteza originada pela realização de uma inspeção visual através de técnicos diferentes possa ser contabilizada e quantificada.

Atualmente em Portugal, as normas de inspeção visual para madeira são escassas e não consideram elementos já existentes em obra, sendo assim necessário perceber se outras normas de inspeção visual podem ser interpretadas de forma semelhante e se os seus resultados podem ser compatíveis. Inspeções visuais realizadas à mesma estrutura, mas com diferentes resultados poderão condicionar a intervenção de reabilitação, e como tal é imperativo que essa incerteza seja incorporada numa análise de segurança.

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é determinar qual o efeito da incerteza na inspeção visual de elementos e na análise de segurança de estruturas de madeira. De modo a cumprir este objetivo principal, foram considerados os seguintes objetivos intermédios:

- Análise crítica das normas de inspeção visual existentes e determinação dos valores críticos na medição e classificação de defeitos;
- Realização de inspeção visual de elementos de madeira;

- Análise de variabilidade de inspeções visuais a elementos de madeira e consequente definição de incerteza;
- Quantificação do erro inerente a uma inspeção visual;
- Aplicação da incerteza na inspeção de um defeito da madeira, nomeadamente a dimensão de um nó, num cenário de avaliação estrutural.

## **1.2 Metodologia**

A primeira fase desta dissertação correspondeu à análise do estado da arte tendo em conta diferentes normas existentes para inspeção visual e classificação de elementos de madeira. Com esta medida, pretendeu-se averiguar quais os parâmetros de avaliação mais referenciados pelas normas e determinar quais os limites impostos para a sua classificação. Em paralelo, foram analisados estudos em que as análises de segurança de estruturas existentes em madeira foram executadas, tendo por base inicial a classificação visual dos seus elementos.

Após definidos os parâmetros de avaliação, foi selecionada uma norma de inspeção para servir de base a uma inspeção a elementos de madeira existentes (elementos de madeira de castanho com secção transversal de  $4 \times 7 \text{ cm}^2$  e 300 cm de comprimento). A inspeção foi realizada por elemento e por segmentos de 40 cm de comprimento, permitindo assim obter tanto uma classificação global como local.

Numa terceira fase, foi analisada uma base de dados de inspeções visuais previamente realizadas aos mesmos elementos de madeira, permitindo assim aferir sobre a variabilidade de resultados quando considerados diferentes inspetores. A análise incluiu a variabilidade dos resultados através de testes e parâmetros estatísticos, sendo que posteriormente foi quantificado o erro da medição (incerteza) através de normas definidas para esse efeito.

Na fase final, a incerteza da inspeção visual foi incluída numa análise de segurança de uma estrutura de madeira através de uma análise de diferentes cenários de inspeção visual, nomeadamente através de diferentes dimensões de nós. Devido à natureza estatística do erro, é considerada uma análise probabilística da estrutura através da modelação dos parâmetros de resistência e solicitação, através de variáveis aleatórias num contexto de análise de fiabilidade.

### 1.3 Organização da dissertação

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em três fases principais, conforme explicito na figura 1.1.



**Figura 1.1:** Organização da dissertação.

Inicialmente foi considerada uma revisão bibliográfica (estado da arte) referente a normas de inspeção visual. Posteriormente, e em paralelo, foi feita uma inspeção visual a elementos de madeira e analisados os resultados de inspeções prévias. A análise integrada destes resultados permitiu a quantificação da incerteza associada a uma inspeção visual e uma posterior aplicação num caso de estudo.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Inspeção visual

A inspeção visual é usada para identificar as principais características dos elementos de madeira, tais como defeitos, sinais de danos ou degradação, usando instrumentos tradicionais ou tecnologicamente avançados. Durante a inspeção visual devem ser caracterizados os fenómenos que são a fonte de todas as anomalias e estabelecer relações de causa e efeito futuro.

Para este efeito são caracterizados e inventariados: *i*) defeitos naturais, tais como nós, desvio do alinhamento do fio da madeira, descaio, fissuras de secagem e percentagem de cerne na secção; *ii*) danos induzidos, tais como deformações, fissuras ou roturas devido ao carregamento; e/ou *iii*) degradação biológica.

A inspeção visual deverá ser realizada ao nível do elemento estrutural, no entanto deverá ser também considerada a análise individualizada de segmentos críticos tendo em conta a presença de uma maior concentração de defeitos e/ou por ser uma zona de maior concentração de esforços. Quando não é possível verificar visualmente os elementos de madeira, mas as condições do elemento suscitarem dúvidas, poderá ser necessário fazer aberturas ou remover parte de outros elementos para se proceder à inspeção, conforme exemplificado na Figura 2.1.



a)



b)

**Figura 2.1:** Acessibilidade a elementos escondidos através de: a) abertura de janelas de inspeção; b) remoção de elementos vizinhos (adaptado de Branco e Sousa, 2014).

No caso de defeitos naturais, os nós e o desvio do alinhamento do fio de madeira são os parâmetros que mais influenciam a resistência e rigidez do elemento e, como tal, devem ser devidamente observados e medidos (Figura 2.2).



**Figura 2.2:** Inspeção e medição de defeitos: a) nós; b) fissura ao longo do fio (adaptado de Branco e Sousa, 2014).

Devido a imperfeições no método construtivo ou devido a diferentes situações de carga, as estruturas de madeira podem evidenciar danos mais ou menos significativos, desde a deformação de elementos até à rotura parcial (fissuras) ou total de um elemento (Figura 2.3). No caso de estruturas de madeira, especial atenção deverá ser dada às ligações e ao seu desempenho devido à sua importância para o comportamento da estrutura. No entanto, existem poucas referências normativas à inspeção de ligações, maioritariamente devido ao abundante número de tipologias de ligações com especificidades próprias.



**Figura 2.3:** Danos e patologias: a) rotura de elemento devido à colocação de uma cavilha; b) deformação de uma asna com consequência na ligação entre pendural e linha (adaptado de Branco e Sousa, 2014).

Finalmente, numa inspeção visual é verificado o estado de conservação da estrutura, tendo em conta o seu nível de degradação (Figura 2.4), sendo esta análise muitas vezes acompanhada pelo uso de ensaios não destrutivos, tais como testes de resistência à penetração por impacto e resistência à perfuração controlada. Em vista os resultados destes ensaios, deve ser considerada uma secção transversal residual, a fim de avaliar a perda de resistência neste elemento. Note-se que, quando existe degradação dos elementos, devem ser determinados os agentes de degradação e se esta ainda é ativa.



**Figura 2.4:** Exemplos de degradação biológica de vigas de madeira (adaptado de Branco e Sousa, 2014).

O resultado final da inspeção visual pode ser traduzido em mapas de danos onde são catalogados, identificados e representados os diferentes tipos de danos e patologias. Dessa forma, é possível analisar a localização dos danos e sua concentração ao longo da estrutura e avaliar as suas zonas críticas. Essas zonas críticas serão alvo de maior detalhe numa análise de segurança e, posteriormente, no planeamento de intervenções.

Um dos métodos é também o mais simples, consiste na observação da estrutura de madeira por um inspetor bastante experiente para perceber qual a espécie da madeira e aferir a existência de defeitos e sinais de deterioração existente ou potencial assinalando as áreas que serão alvo de uma análise mais aprofundada (Emerson *et al*, 1998).

## 2.2 Normas de inspeção

Através do uso de normas de inspeção é possível obter uma classificação da madeira permitindo, desta forma, obter amostras de material com menor variabilidade e uma definição da qualidade e estado de conservação atual, podendo as classes de qualidade

ser estabelecidas com base em critérios de resistência mecânica ou estéticos. Em qualquer um dos casos, cada classe de qualidade é definida por um conjunto de valores máximos, admitidos nas normas de inspeção e classificação, para os vários tipos de defeitos, avaliados visualmente. Esses limites impostos permitem assim definir diferentes classes para elementos de madeira.

A classificação visual da madeira para fins estruturais é uma prática corrente em vários países da Europa e da América do Norte, sendo que alguns casos é uma prática com mais de meio século de existência. As normas de classificação visual aplicadas para o efeito variam de país para país, muitas vezes baseadas na prática tradicional e adaptadas às particularidades das espécies nacionais. Devido a essas premissas, o CEN (Comité Europeu de Normalização), responsável pela elaboração de normas Europeias, não foi capaz de obter uma norma unificada de classificação de madeira em estruturas para os diversos países, deixando assim cada país responsável pela utilização das suas próprias normas sobre esta matéria, desde que cumpridos os requisitos gerais impostos internacionalmente.

### **2.2.1. Incerteza**

O resultado de uma inspeção visual é a atribuição dos valores indicativos ou admissíveis de tensão, para obtenção das propriedades de referência da madeira, permitindo assim a sua caracterização mecânica. No entanto, para além da dificuldade de avaliar elementos existentes de madeira em obra, a eficiência de uma inspeção visual poderá ser comprometida pela sua natureza subjetiva, inerente à experiência do inspetor e do tipo de norma utilizada.

A incerteza na medição surge devido a erros aleatórios ou sistemáticos, resultado da forma como são identificados e caracterizados os defeitos que limitam o desempenho do elemento de madeira. De forma a minimizar esses erros foram propostas nas últimas décadas várias normas Nacionais de inspeção e classificação visual. No entanto, mesmo utilizando a mesma norma, o processo de inspeção visual depende do inspetor e como tal a necessidade de formação nesta área (Sousa *et al.*, 2013b).

Nas coberturas tradicionais de madeira tem por base um levantamento exaustivo de vários exemplos, analisou-se o comportamento global destas, estudando a influência de parâmetros específicos bem como o efeito de alguns erros diagnosticados na fase de levantamento.

A inspeção visual não é apenas fundamental na avaliação de conservação das coberturas em madeira, como permite ainda a classificação mecânica de elementos de madeira tendo por base a sua apreciação visual. Existem normas específicas para a classificação de elementos de madeira de estruturas existentes. Na Universidade do Minho decorrem estudos da avaliação de aplicabilidade destas normas às estruturas de madeira existentes em Portugal (Branco e Lourenço, 2014).

De igual forma, existem incertezas para construções realizadas noutros materiais, tais como o betão, ou na inspeção e da reabilitação de obras de arte, mais especificamente pontes e viadutos rodoviários, sendo necessário cada vez mais investir em meios e conhecimento especializado na procura de formas economicamente interessantes de inspeção, diagnóstico, gestão da conservação e da monitorização dessas obras de arte. Realça-se o trabalho desenvolvido por Jesus (2015) que teve por objetivo identificar as principais anomalias de pontes e viadutos de betão armado, e, através do auxílio fornecidos por técnicas de inspeção e monitorização, indicar intervenções preventivas e corretivas, visando assegurar a durabilidade dessas obras de arte durante as suas vidas úteis.

### **2.2.2. Exemplos**

No contexto Europeu existem diversas normas que regulam os procedimentos para classificação visual de elementos de madeira e atribuição de propriedades mecânicas. No entanto, essas normas devem respeitar as diretrizes Europeias. Para esse efeito a norma EN 1408-1:2005 especifica os requisitos mínimos para normas nacionais de classificação visual, enquanto a EN 408:2010 apresenta métodos de ensaio para obtenção de propriedades mecânicas. Por sua vez a EN 338:2009 delimita os valores para as classes de resistência enquanto a EN 1912:2004 faz a atribuição de espécies e classes visuais das normas nacionais para as classes de resistência.

Num âmbito geral, cada país desenvolveu as suas próprias regras e normas de inspeção e classificação adaptadas ao seu contexto de mercado e espécies de madeira. Apesar de seguirem as diretrizes gerais, estas apresentam várias diferenças, principalmente na forma de medição dos diferentes defeitos, assim como no estabelecimento de limites para cada um deles.

Por exemplo, para avaliação de coníferas, na Alemanha, é utilizada a norma DIN 4074-1:2003 (a primeira versão data de 1938) enquanto a Espanha utiliza a UNE 56544:2003

(a primeira versão data de 1995). A norma UNE 56544:2003 estabelece duas classes para elementos serrados de madeira de conífera (ME1 e ME2), enquanto a norma DIN 4074-1:2003 apresenta três classes (S13, S10 e S7) considerando também quatro tipos de secções transversais com diferentes especificações.

Nestas normas verifica-se uma diferença na forma como são medidos os nós (Almazán *et al.*, 2008). A norma Espanhola define o diâmetro do nó como a distância entre duas linhas retas paralelas ao eixo longitudinal do elemento e tangentes ao nó. Adicionalmente, a limitação da dimensão máxima do nó depende do tipo de nó (ex. nó de face ou de canto, isolado ou de grupo). Os nós são considerados nós de canto quando a distância entre o nó e a aresta do elemento é menor ou igual ao diâmetro do nó. Nós de face são avaliados pela relação entre o diâmetro do nó e a largura da face onde se encontra ( $d/h$ ), enquanto os nós de canto são avaliados pela relação com a espessura do elemento ( $d/b$ ). Os nós são considerados nós agrupados ou grupo de nós quando se encontram dois (ou mais) nós afastados numa distância dada pelo menor valor entre 150 mm ou a largura do elemento. A avaliação de nós agrupados é baseada na relação entre a soma dos diâmetros de todos os nós e a largura da face do elemento onde se encontram. A norma Alemã procede à medição dos nós de forma mais simples considerando somente o diâmetro mínimo do nó. No tópico a seguir as normas UNI serão descritas com mais detalhe.

### **2.3 Comparação**

Como é perceptível existem várias normas para diversos tipos de madeira, como mostra na tabela 2.1. Existem normas para espécies coníferas (e.g. pinho, eucalipto) e para folhosas (e.g. castanho, carvalho), sendo que cada uma delas apresenta formas de classificação e classes diferentes. Na tabela seguinte apresenta-se a comparação das classes com a norma EN 338, que evidencia valores de resistência e rigidez para diferentes classes de madeira.

**Tabela 2.1:** Comparação de classificação atribuída através de diferentes normas de inspeção visual.

<b>Norma</b>	<b>Espécie</b>	<b>Nº Classes</b>	<b>Classe EN 338</b>
NP 4305:1995	Coníferas	EE e E	C18,C35
UNE 56544:2003	Coníferas	ME1 e ME2	C24 e C18
DIN 4074 Parte I (2001)	Coníferas	S7, S10, S13	C16 C24 C30
UNI 11119:2004	Coníferas	S1, S2 e S3	C24 C30 C35
UNI 11119:2004	Folhosas	S	D24

No caso da norma Portuguesa a NP 4305:1995 apresenta classes que se traduzem como classificação C18 e C35 na norma EN 338, enquanto a Espanhola UNE 56544:2003 apresenta classes comparáveis a C18 e C24, ou seja, a Portuguesa pode assumir classes mais elevadas. Logo depois a Alemã DIN 4074 2001 já apresenta valores de classificação mais elevados em relação à Portuguesa e à Espanhola. Ainda nas coníferas a norma Italiana UNI 11119:2004 apresenta valores mais elevados de classificação, assumindo classes equivalentes a C24, C30 e C35 como mostra a tabela 2.1. Nas folhosas, somente a norma UNI 11119:2004 apresenta valores, assumindo uma classe comparável a uma classe D24.

### **2.3.1 Normas**

As normas de classificação visual em diferentes países apresentam limites para diferentes tipos de defeitos. Como se pode confirmar na tabela 2.2, estas não classificam a totalidade dos defeitos. Exemplo disso é a norma Portuguesa (NP 4305:1995) que só apresenta limites de classificação para os nós, alinhamento do fio e degradação.

De salientar que os nós, independentemente da forma como são avaliados, são um parâmetro classificado em todas as normas descritas. No entanto, verifica-se que a forma como são avaliados difere tendo em conta a sua localização, dimensão e dependência com outros defeitos.

**Tabela 2.2:** Parâmetros avaliados em diferentes normas de inspeção visual.

<b>Defeitos</b>	<b>NP 4305:1995</b>	<b>UNE 56544:2003</b>	<b>DIN 4074 Parte I</b>	<b>UNI 11119:2004</b>
Nós	X	X	X	X
Fendas		X	X	
Fio	X	X	X	X
Degradação	X		X	

### **2.3.2 Avaliação da resistência dos elementos de madeira**

A verificação da segurança dos elementos estruturais deve ser feita mediante a contabilização da secção residual (efetiva) dos elementos, a adoção de valores para as tensões resistentes da madeira adequados à espécie florestal em causa, à qualidade da madeira empregue (atribuída por classificação visual dos elementos individuais para avaliação de defeitos, especialmente nós e inclinação do fio) e ao teor em água da madeira. Poderá ser relevante considerar, não só o teor em água previsto para as condições de funcionamento futuras, mas também o teor em água da madeira durante a fase de construção ou o período subsequente de secagem até à estabilização da estrutura, em casos em que a madeira apresente teor em água elevado à data do início da intervenção.

O teor em água de equilíbrio a prever será função das condições ambientais. O teor em água atual poderá ser avaliado no local de forma expedita mediante a utilização de humidímetros. No que se refere à quantificação da secção útil, pode recorrer-se a um conjunto de meios auxiliares de diagnóstico, para esclarecer dúvidas específicas suscitadas pela observação atenta dos elementos aplicados, com base no conhecimento da espécie de madeira em causa e das suas particularidades. Referem-se as seguintes técnicas consideradas não destrutivas: “Perfurador” (perfil de densidade, detecção de “ocos” ou fendas anelares), Pylodin (dureza na direcção transversal), Raios Gama (perfil de densidade), Ultra-sons - Sylvatest/Pundit (estimação do módulo de elasticidade a partir da velocidade de propagação da onda sonora), e Vibrações (estimação do módulo de elasticidade a partir da frequência própria de vibração) (Cruz, 2001).

### 2.3.3 Como avaliar os defeitos

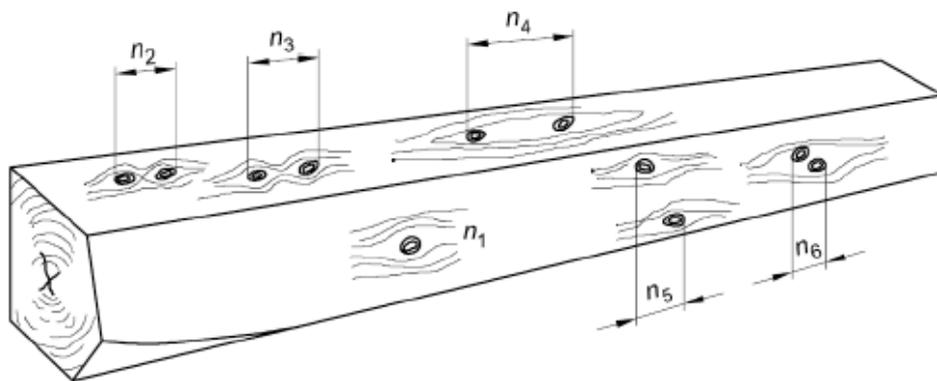
Norma UNI 11119:2004

A norma UNI 11119:2004 estabelece, procedimentos e requisitos para o diagnóstico do estado de conservação e estima as propriedades mecânicas (resistência e rigidez) para elementos estruturais de madeira presentes em construção existente. A sua metodologia é baseada na realização e resultados de inspeção visual, complementada com ensaios não-destrutivos. Para a classificação visual de um determinado elemento, esta norma considera três classes distintas (classes I, II e III), atendendo ao diagnóstico realizado em obra e para a espécie de madeira em estudo. Um determinado elemento é classificado com uma respetiva classe tendo em conta os limites impostos pela norma. Caso os defeitos sejam mais graves que o limite máximo admitido para a classe inferior (classe III), então o elemento deverá ser considerado não apto para uso estrutural (ou não classificável, NC), como mostra abaixo a tabela 2.3.

**Tabela 2.3:** Limites impostos pela UNI 11119:2004 para classificação de elementos de madeira em obra (adaptado de Branco e Sousa, 2014).

Parâmetro a classificar		Classe em obra		
		I	II	III
Descaio		$s_w \leq 1/8$	$s_w \leq 1/5$	$s_w \leq 1/3$
Vários defeitos: fendas de gelo e fendas anulares		Ausente	Ausente	Admissível em extensão limitada
Nós isolados		$A_d \leq 1/5$ $d \leq 50mm$	$A_d \leq 1/3$ $d \leq 70mm$	$A_d \leq 1/2$
Nós agrupados		$W_d \leq 2/5$	$W_d \leq 2/3$	$W_d \leq 3/4$
Inclinação do Fio	Secção radial	$\leq 1/14$ ( $\approx 7\%$ )	$\leq 1/8$ ( $\approx 12\%$ )	$\leq 1/5$ (20%)
	Secção tangencial	$\leq 1/10$ (10%)	$\leq 1/5$ (20%)	$\leq 1/3$ ( $\approx 33\%$ )
Fendas radiais de retração		Admissíveis desde que não repassadas		

Nesta norma, nós isolados são medidos tendo em conta o parâmetro  $A_d$  correspondente à relação entre o diâmetro menor do nó ( $d$ ) com a largura da face onde se encontra o nó, já os nós agrupados são avaliados através do parâmetro  $W_d$  correspondente à relação entre a soma dos diâmetros mínimos,  $t_k$ , de todos os nós numa distância de 150 mm (ou até que o fio não tenha retomado a sua direção normal) e a largura da face do elemento onde se encontram os nós. A Figura 2.5 apresenta exemplos que permitem diferenciar entre nós isolados e nós agrupados segundo a norma UNI 11035-1:2003.



**Legenda:**

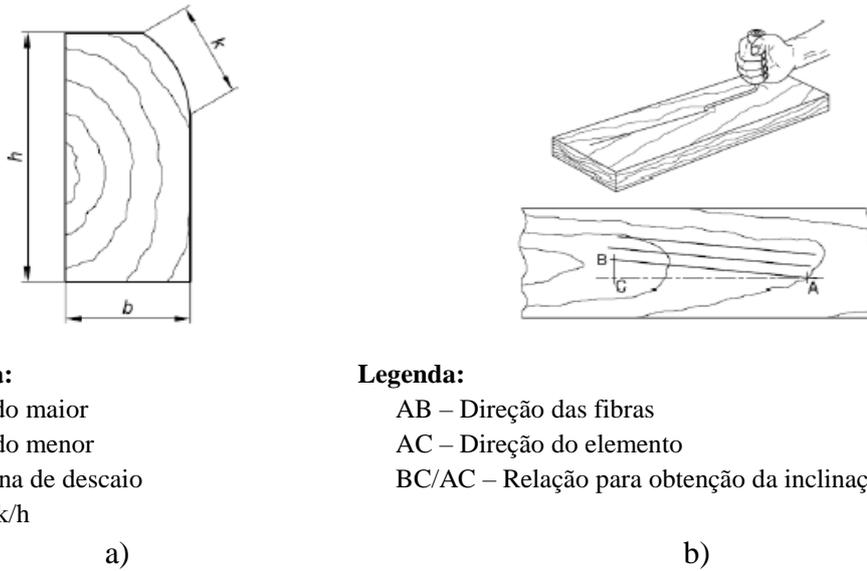
- $n_1$  - nó isolado;
- $n_2$  - nós agrupados, devido a uma distância menor de 150 mm;
- $n_3$  - nós isolados, devido a uma distância maior de 150 mm;
- $n_4$  - nós agrupados, devido ao desvio contínuo do alinhamento do fio, apesar de uma distância maior de 150 mm;
- $n_5$  - nós isolados, devido ao alinhamento uniforme do fio, mesmo com uma distância menor de 150 mm;
- $n_6$  - nós agrupados, devido ao desvio contínuo do alinhamento.

**Figura 2.5:** Medição de parâmetros visuais, diferença entre nós isolados e nós agrupados (adaptado de UNI 11035-1:2003).

O descaio é medido considerando a relação  $s_w$  entre a dimensão oblíqua ( $k$ ) da aresta e a altura ( $h$ ) da secção transversal (Figura 2.6 a). A inclinação do fio é realizada através do uso de um riscador ou quando presentes através da avaliação da direção das fendas de secagem nas faces longitudinais (Figura 2.6 b). A inclinação do fio deve ser medida numa zona afastada do efeito de nós de forma a ser representativa do elemento.

Na classificação visual a partir desta norma, a presença de dano biológico deverá também ser identificada e reportada assim como a secção residual resultante, atendendo à perda de material devido a esse ataque.

Após a determinação dos parâmetros de cada defeito e atribuição de uma classe visual, a norma UNI 11119:2004 apresenta também valores indicativos para a caracterização mecânica de diferentes espécies. A Tabela 2.4 apresenta um exemplo para a madeira de pinho (várias espécies) e castanho.



**Figura 2.6:** Medição de parâmetros visuais: a) descaio; b) alinhamento do fio (adaptado de UNI 11035-1:2003).

**Tabela 2.4:** Caracterização mecânica de coníferas do género Pinus (várias espécies) e de castanho atendendo à aplicação da norma UNI 11119:2004 (12% de teor de água).

Classe em obra		Tensões admissíveis (N/mm <sup>2</sup> )					
		Compressão		Flexão	Tração	Corte	Módulo de elasticidade (flexão)
		// ao fio	⊥ ao fio	estática	// ao fio		
Pinho	I	11	2,0	12	11	1,0	13000
	II	9	2,0	10	9	0,9	12000
	III	7	2,0	8	6	0,8	11000
Castanho	I	11	2,0	12	11	0,8	10000
	II	9	2,0	10	9	0,7	9000
	III	7	2,0	8	6	0,6	8000

## Normas UNI 11035-1:2003 e UNI 11035-2:2003

A norma Italiana UNI 11035-2:2003 identifica as espécies de madeira mais utilizadas no âmbito da construção em Itália. Para cada caso, indica as regras e requisitos para a classificação visual tendo em conta os parâmetros dados pela norma UNI 11035-1:2003. Cada elemento é classificado atendendo a diferentes requisitos e posteriormente atribuída uma classe visual. As medições dos parâmetros referentes aos defeitos da madeira são análogas aos descritos anteriormente para a norma UNI 11119:2004.

No caso de folhosas, existe uma classe única (classe S) enquanto no caso das coníferas são divididas em duas categorias (coníferas de tipo 1 ou 2) com três classes cada (S1, S2 e S3). Exemplo dos requisitos para a determinação de uma classe visual S1, S2 ou S3 para elementos de madeira de coníferas é apresentada na Tabela 2.5 e os requisitos para a classe S (espécies de folhosas) é apresentada na Tabela 2.6.

De forma análoga à classificação pela UNI 11119:2004, se os defeitos forem mais gravosos que o limite máximo admitido para classe inferior (S ou S3) então o elemento deverá ser considerado não apto para uso estrutural (ou não classificável).

Após a determinação dos parâmetros de cada defeito e atribuição de uma classe visual, a norma UNI 11035-2:2003 apresenta também valores indicativos para a caracterização mecânica de diferentes espécies. A Tabela 2.7 apresenta um exemplo para coníferas de tipo 1 (e.g. Abeto e Pinho), enquanto a Tabela 2.8 apresenta um exemplo para elementos de madeira de folhosas.

**Tabela 2.5:** Limites impostos pela UNI 11035-2:2003 para classificação de elementos de madeira, exemplo para coníferas de tipo 1.

Parâmetro a classificar	Classe para coníferas de tipo 1		
	S1	S2	S3
Descaio	$S_w \leq 1/8$ e para cada lado da secção pelo menos $2/3$ , não apresente descaio	$S_w \leq 1/3$ e para cada lado da secção, pelo menos $1/3$ não apresente descaio	$S_w \leq 1/2$ e para cada lado da secção, pelo menos $2/3$ , não apresente descaio
Nós isolados	$A_d \leq 1/5$ $d < 50\text{mm}$	$A_d \leq 2/5$ $d < 70\text{mm}$	$A_d \leq 3/5$
Grupo de nós	$W_d \leq 2/5$	$W_d \leq 2/3$	$W_d \leq 3/4$
Amplitude de anel	$\leq 6\text{ mm}$	sem limitação	
Inclinação do fio	$\leq 1:14$	$\leq 1:8$	$\leq 1:6$
Fendas: - retração - anelares - relâmpago, gelo, danos	Admissível se não passante não admissível não admissível	Admissível sem limitação admissível com limitação não admissível	
degradação por fungos: coloração azul brancos ou castanhos	Admissível não admissível		
lenho de compressão	$\leq 1/5$ da secção	$\leq 2/5$ da secção	$\leq 3/5$ da secção
ataque de insetos xilófagos	não admissível	admissível com limitação	
colonização vegetal	não admissível		
empeno: - arco de face - arco de canto - hélice - meia cana	10mm por 2 m de comprimento 8mm por 2 m de comprimento 1mm por 25mm de largura sem restrição	20mm por 2 m de comprimento 12mm por 2 m de comprimento 2mm por 25mm de largura sem restrição	

**Tabela 2.6:** Limites impostos pela UNI 11035-2:2003 para classificação de elementos de madeira, exemplo para folhosas.

Parâmetro a classificar	Casse única
	S
Descaio	$S_w \leq 1/4$ e para cada lado da secção, pelo menos $2/3$ , não deverá apresentar descaio
nós isolados	$A_d \leq 1/2$ ; $d \leq 70\text{mm}$ ; $D \leq 150\text{mm}$
grupos de nós	$W_d \leq 2/5$ ; $t_k \leq 70\text{mm}$
amplitude do anel	sem limitação
Densidade	$\rho > \rho_{\min}$ (e.g. $\rho_{\min} = 395 \text{ kg/m}^2$ para <i>Castanea Sativa</i> Mill.)
inclinação do fio	$\leq 1:6$
Fendas: - retração - anelares - relâmpago, gelo, danos	admissível mas em ocorrência limitada admissível mas em ocorrência limitada não admissível
degradação por fungos brancos ou castanhos	não admissível
lenho de reação	sem limitação
ataque de insectos xilofagos	admissível em ocorrência limitada
colonização vegetal	não admissível
empeno: - arco de face - arco de canto - hélice - meia cana	10 mm por 2 m de comprimento 8 mm por 2 m de comprimento 1 mm por 25 mm de largura sem restrição

**Tabela 2.7:** Caracterização mecânica de elementos de madeira de coníferas (tipo 1) atendendo à aplicação da norma UNI 11035-2:2003.

Propriedade		Outras coníferas		
		S1	S2	S3
Resistência à flexão (5%) [MPa]	$f_{m,k}$	33	26	22
Resistência à tensão // ao fio (5%) [MPa]	$f_{t,0,k}$	20	16	13
Resistência à tensão $\perp$ ao fio (5%) [MPa]	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5
Resistência à compressão // ao fio (5%) [MPa]	$f_{c,0,k}$	24	22	20
Resistência à compressão $\perp$ ao fio (5%) [MPa]	$f_{c,90,k}$	4	4	4
Resistência ao corte (5%) [MPa]	$f_{v,k}$	3,3	2,7	2,4
Módulo de elasticidade // ao fio (médio) [MPa]	$E_{0,mean}$	12300	11400	10500
Módulo de elasticidade // ao fio (5%) [MPa]	$E_{0,05}$	8200	7600	7000
Módulo de elasticidade $\perp$ ao fio (médio) [MPa]	$E_{90,mean}$	410	380	350
Módulo de distorção (medio) [MPa]	$G_{mean}$	770	710	660
Massa volúmica (5%) [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_k$	530	530	530
Massa volúmica (média) [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mean}$	575	575	575

**Tabela 2.8:** Caracterização mecânica de elementos de madeira de folhosas atendendo à aplicação da norma UNI 11035-2:2003.

Espécies de folhosas e classe visual	Castanho	Carvalho	Choupo	outras folhosas
	Classe			
Propriedade mecânicas e densidade	S	S	S	S
Resistência à flexão (5%) [MPa]	28	42	26	27
Resistência à tensão // ao fio (5%) [MPa]	17	25	16	16
Resistência à tensão $\perp$ ao fio (5%) [MPa]	0,5	0,8	0,4	0,5
Resistência à compressão // ao fio (5%) [MPa]	22	27	22	22
Resistência à compressão $\perp$ ao fio (5%) [MPa]	3,8	5,7	3,2	3,9
Resistência ao corte (5%) [MPa]	2	4	2,7	2
Módulo de elasticidade // ao fio (médio) [MPa]	11000	12000	8000	11500
Módulo de elasticidade // ao fio (5%) [MPa]	8000	10100	6700	8400
Módulo de elasticidade $\perp$ ao fio (médio) [MPa]	730	800	530	770
Módulo de distorção (medio) [MPa]	950	750	500	720
Massa volúmica (5%) [kg/m <sup>3</sup> ]	465	760	420	515
Massa volúmica (média) [kg/m <sup>3</sup> ]	550	825	460	560

## Norma UNI 11138:2004

A norma UNI 11138:2004, apesar de não ser uma norma específica para a classificação visual de elementos de madeira, fornece indicações sobre os critérios a seguir para a avaliação preventiva, elaboração do projeto e a eventual execução das intervenções de conservação, manutenção e restauro de elementos estruturais de madeira de edifícios de interesse cultural.

Nesta norma são dadas as indicações para a definição do programa de manutenção e inspeção sendo que é mencionado que o projeto deverá conter uma descrição desse programa atendendo ao tipo e periodicidade das inspeções a realizar. A inspeção periódica deverá ser levada a cabo com o intervalo de tempo previsto no plano de manutenção e terá como objetivo principal o de verificar se se confirmam os pressupostos de projeto, no que concerne a ações e condições da envolvente, e se existem indícios de início de degradação ou de perda de funcionalidade do todo ou de parte da estrutura intervencionada.

## NP 4305:1995

### Método de medição dos defeitos – NP4305

De seguida, é apresentada uma explicação dos métodos de medição de defeitos utilizado na NP 4305, tendo como base a ficha M2 do LNEC (Cruz *et al.*, 1997). Estes métodos de medição são, na generalidade, válidos para as coníferas, mesmo considerando outras normas de classificação visual. Nesta norma são utilizados alguns conceitos relativos às dimensões da peça de madeira, como face, canto, altura e espessura, tais como:

Face - Superfície plana ou quase plana, sensivelmente paralela ao eixo maior de uma peça e resultante de uma operação de preparo;

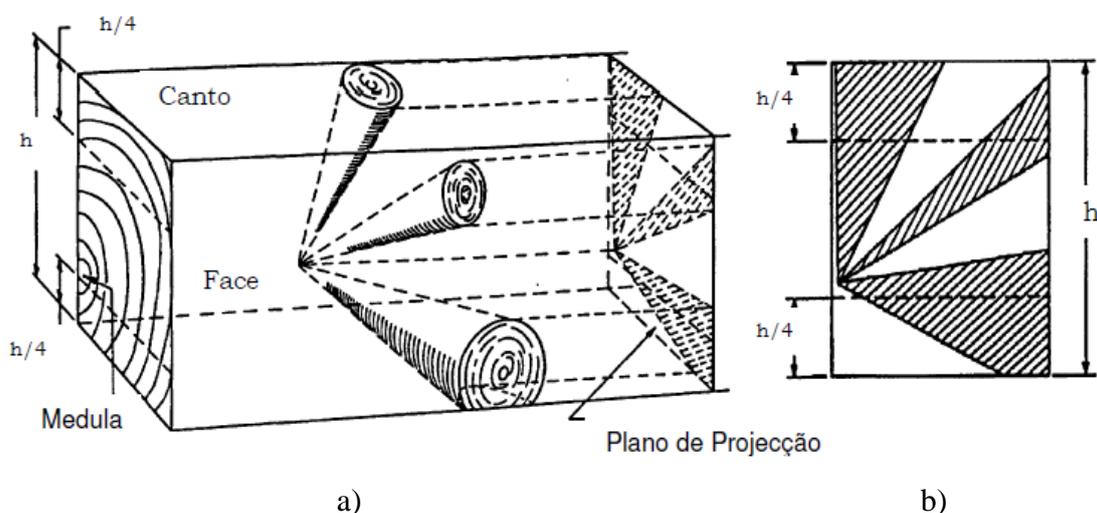
Canto – Superfície plana, sensivelmente paralela ao eixo maior de uma peça, resultante de uma operação de preparo, e que tem menor dimensão que as faces contíguas. Uma peça de secção prismática tem dois topos, duas faces e dois cantos. Os cantos representam as duas *faces* de menor dimensão.

A altura de uma secção,  $h$ , é definida como sendo a maior das dimensões dessa secção, e a espessura ou largura,  $b$ , como a menor dimensão.

Os nós são avaliados pela área de secção transversal que ocupam, admitindo que cada nó é um cone cujo vértice se encontra localizado na medula, e fazendo a sua projecção na secção transversal. No caso de peças cuja medula não se encontra presente, estima-se a sua posição e idealizam-se os nós da peça a classificar como convergindo para um ponto exterior à secção.

A avaliação dos nós faz-se pelo índice de nós na secção total (KAR total), e pelo maior índice de nós na secção marginal (KAR marginal), não sendo feita qualquer distinção entre buracos de nós e nós, mortos ou vivos, para efeitos de avaliação. Considera-se que as zonas marginais, são as zonas vizinhas dos cantos de uma secção transversal, cada uma das quais ocupa um quarto da superfície transversal total da peça.

O KAR total é a proporção da secção transversal de uma peça ocupada pela projecção de um nó ou de um grupo de nós, enquanto que o KAR marginal é a proporção de uma secção marginal de uma peça ocupada pela projecção de um nó ou de um grupo de nós (Figura 2.7).

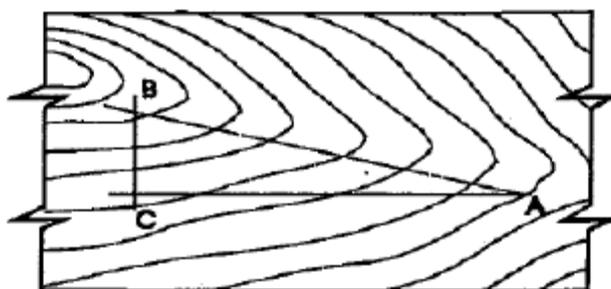


**Figura 2.7:** Método KAR de avaliação dos nós: a) vista axonométrica mostrando em três dimensões um grupo de nós de uma peça e a sua projecção sobre um plano transversal; b) plano transversal de projecção. Imagem da secção ocupada pelos nós e secção (adaptado de Prieto, 2001).

Na EN 1310:1997 é definido um método alternativo de medição dos nós, sendo esse método utilizado na maioria dos países Europeus. De acordo com a referida norma, os diâmetros dos nós são medidos perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça em

todas as superfícies em que se manifestem. Os nós que aparecem na face avaliam-se pela relação entre o diâmetro do nó e a altura da peça ( $d/h$ ); e os que aparecem no canto avaliam-se pela relação entre o seu diâmetro e a espessura ( $d/b$ ).

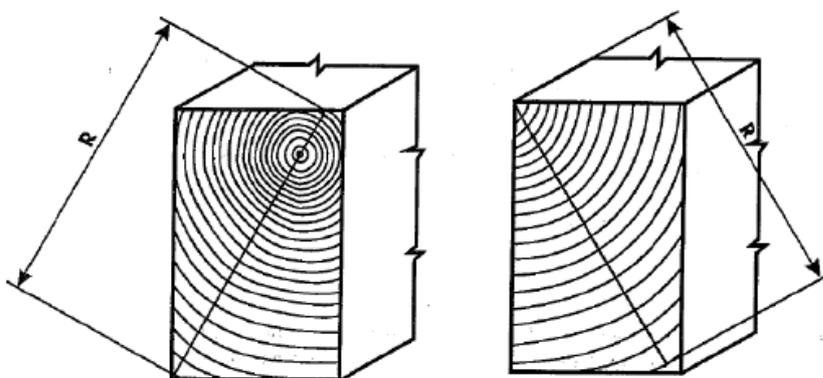
A avaliação do fio inclinado pode ser feita apenas por observação visual, ou, se necessário, recorrendo a uma ferramenta designada por riscador. O seu valor deverá ser medido sobre um comprimento razoavelmente grande para que se possa determinar a inclinação geral independentemente das deformações locais. No caso da presença simultânea de fio inclinado num canto e numa face de uma peça será tido em consideração o pior dos casos.



**Legenda:**  
FIO = BC/AC

**Figura 2.8:** Medição do fio (adaptado de Cruz *et al.* 1997).

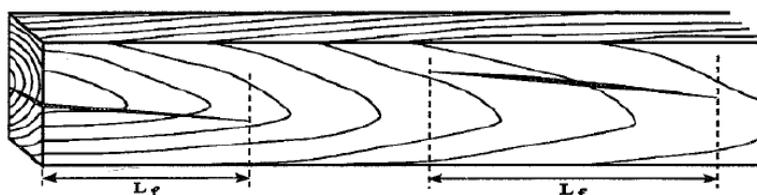
A taxa de crescimento é um parâmetro que permite estimar de forma expedita a massa volúmica de uma peça de madeira. A avaliação é feita pela largura média, em milímetros, dos anéis de crescimento, medida sobre a linha radial mais comprida que for possível traçar num dos topos da peça.



**Legenda:**  
Taxa de crescimento =  $R$   
(mm)/nº de anéis de crescimento anual na linha de comprimento  $R$

**Figura 2.9:** Medição da taxa de crescimento (adaptado de Cruz *et al.*, 1997).

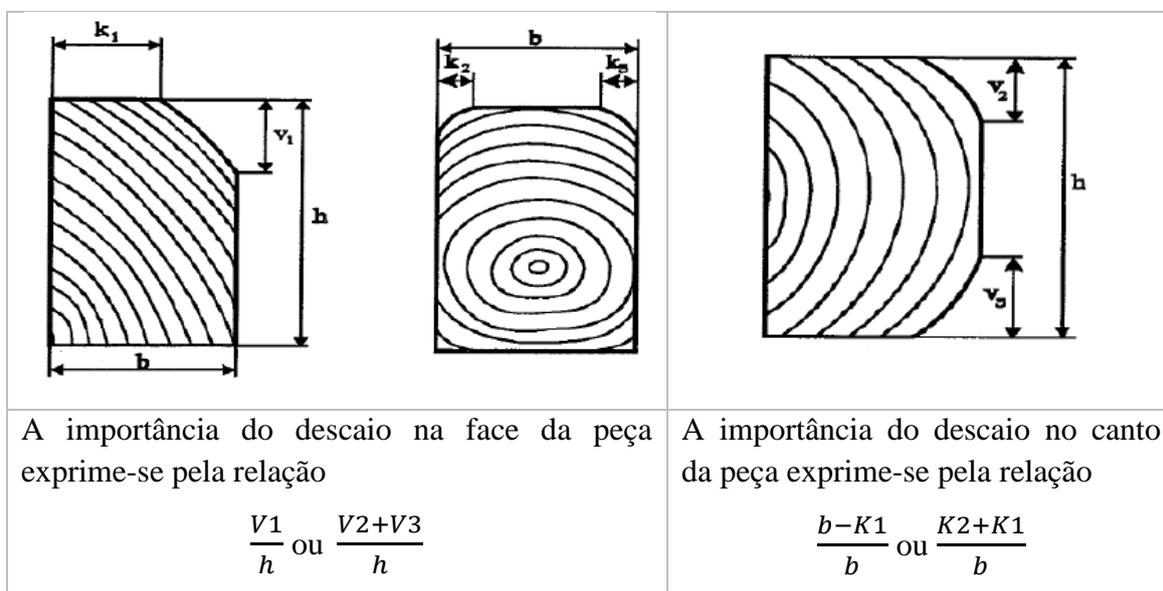
O comprimento de fendas corresponde à distância entre duas linhas que a delimitem, sensivelmente perpendiculares à direção das fibras, e paralelas aos topos. Faz-se a distinção entre fendas repassadas se ocorrem simultaneamente em duas superfícies opostas de uma dada peça, ou não repassadas em caso contrário. Nesta norma apenas é avaliado o comprimento da fenda, mas noutras normas europeias, como por exemplo a norma Espanhola UNE 56544, é também limitada a profundidade da fenda.



**Legenda:** Lf = Comprimento da fenda

**Figura 2.10:** Medição das fendas (adaptado de Cruz *et al.*, 1997).

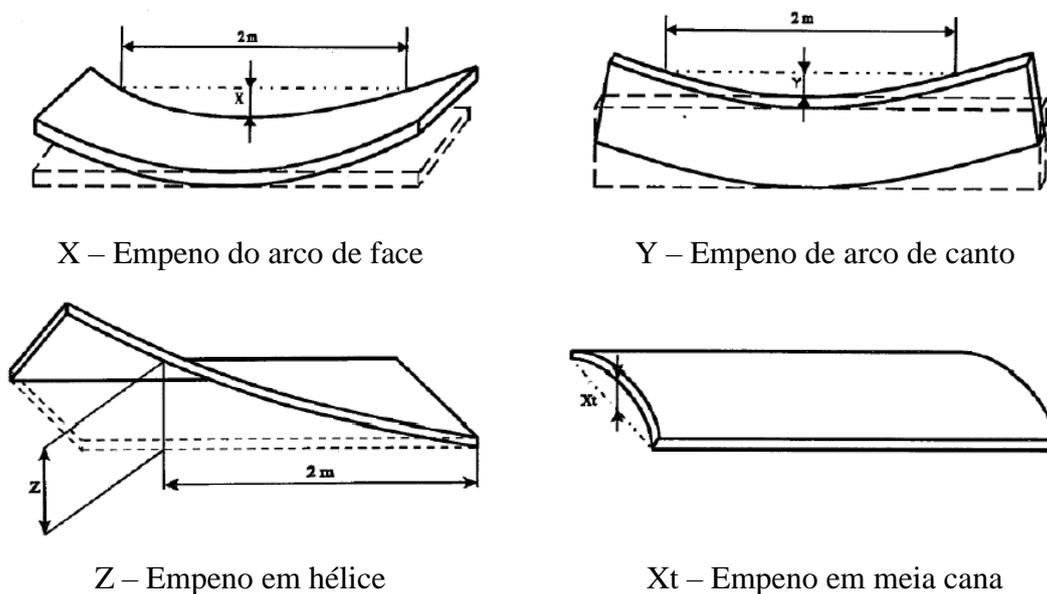
A avaliação do descaio é expressa pelo quociente entre a projeção do descaio na face (ou canto) e a largura total dessa face (ou canto).



**Figura 2.11:** Medição do descaio (adaptado de Cruz *et al.*, 1997).

A limitação dos empenos é feita essencialmente por questões funcionais e dificuldades de aplicação em obra. Os empenos em arco de face, de canto, e em hélice são medidos num comprimento de dois metros; o empeno em meia cana é avaliado sobre a largura da

peça. Se o comprimento da peça for inferior a dois metros a medição será feita entre os seus extremos.



**Figura 2.12:** Medição de empenos (adaptado de Cruz *et al.*, 1997).

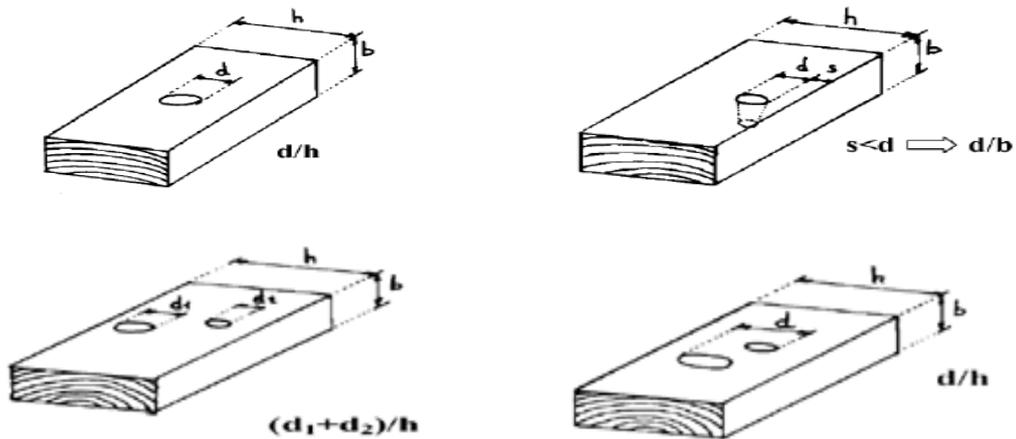
UNI 11035-1:2010

Esta norma, de acordo com UNI EN 14081-1, apresenta a terminologia e métodos específicos para a medição das características relevantes para fins de classificação, tendo em conta a resistência mecânica de madeira destinada a ser utilizada em estruturas. Esta norma permite-te nos com base nela ver os vários tipos de empenos.

UNE 56544:2003

A norma UNE 56544:2003 (Espanha) estabelece duas classes para elementos serrados de madeira de conífera (ME1 e ME2). Esta norma Espanhola define o diâmetro do nó como a distância entre duas linhas retas paralelas ao eixo longitudinal do elemento e tangentes ao nó. Adicionalmente, a limitação da dimensão máxima do nó depende do tipo de nó (e.g. nó de face ou de canto, isolado ou de grupo). São considerados nós de canto quando a distância entre o nó e a aresta do elemento é menor ou igual ao diâmetro do nó. Nós de face são avaliados pela relação entre o diâmetro do nó e a largura da face onde se encontra ( $d/h$ ), enquanto os nós de canto são avaliados pela relação com a

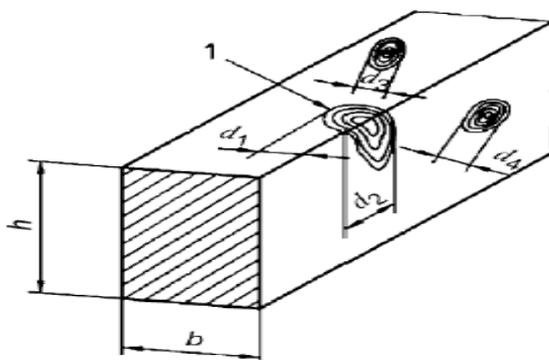
espessura do elemento ( $d/b$ ). São considerados nós de grupo quando se encontram dois (ou mais) nós afastados da distância dada pelo menor valor entre 150 mm ou a largura do elemento. A avaliação de nós em grupo é baseada na relação entre a soma dos diâmetros de todos os nós e a largura da face do elemento onde se encontram (Figura 2.13).



**Figura 2.13:** Medição de nós através das normas UNE 56544:2003. (Franco,2008)

DIN 4074-1:2003

A norma DIN 4074-1:2003 (Alemanha) apresenta três classes (S13, S10 e S7) considerando também quatro tipos de secções transversais com diferentes especificações. Esta procede à medição dos nós de forma mais simples considerando somente o diâmetro mínimo do nó como mostra a figura 2.14.



$$A = \max \left( \frac{d1}{b}; \frac{d2}{h}; \frac{d3}{b}; \frac{d4}{h} \right)$$

**Figura 2.14:** Medição de nós através das normas DIN4074-1:2003. (Franco,2008)

As semelhanças entre as duas normas Espanhola e Alemã é que as duas encontram-se principalmente na forma de medir e avaliar os defeitos da madeira que afetam a sua resistência. O número e o tipo de defeitos encontrados em ambos os padrões são iguais nas duas.

Outra diferença significativa é encontrada no campo de aplicação de ambas as normas. Com efeito, a norma Alemã aplica-se a todas coníferas do centro Europeu utilizadas na construção, no entanto a norma UNE é somente válida para as quatro espécies de pinheiro mais importantes em Espanha.

As descrições das normas UNI 11138:2004, NP 4305:1995, EN 1310:1997, UNE 56544, UNI 11035-1:2010, UNE 56544:2003, DIN 4074-1:2003, está conforme análise feita por Franco, 2008.

## **2.4 Conclusões**

Neste capítulo, verifica-se a existência de várias normas com diferentes técnicas de medição de defeitos e sua classificação. Estas diferenças são encontradas também para diferentes espécies de madeira. Desta forma, conclui-se que o mesmo defeito poderá ser avaliado de modo diferente se aplicada uma norma de classificação diferente, aumentando assim a incerteza sobre a sua análise. A inexistência de normas específicas para elementos em obra (somente as normas italianas falam disso). Exemplo disso é a falta de normas para as folhosas em Portugal e a existência de uma só norma em Portugal.

No caso Europeu podia existir uma só norma e não uma ou varias normas para cada país.

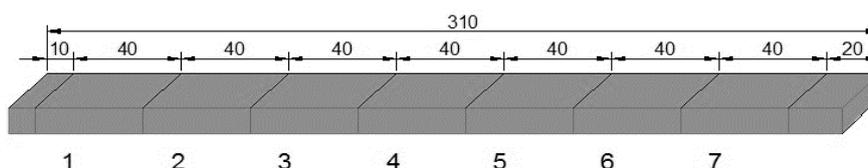
### 3. INSPEÇÃO VISUAL A ELEMENTOS EXISTENTES DE MADEIRA

#### 3.1 Introdução

Este capítulo descreve uma inspeção visual realizada a 7 elementos de madeira folhosa (Castanho), utilizando a norma UNI 11119:2004 tendo em conta os parâmetros nela definidos, nomeadamente nós, alinhamento do fio e fendas. Os elementos em estudo são 7 tábuas com comprimento de 310 cm e secção transversal de  $4 \times 7 \text{ cm}^2$  que foram divididas em 7 segmentos de 40 cm para uma análise ao longo do comprimento do elemento (Figura 3.1). Foram analisadas as faces de maior largura, definidas posteriormente como faces 1 e 3. As fichas de inspeção a cada um desses elementos são apresentadas no Anexo 1.

A inspeção realizada neste capítulo servirá como base de referência para posteriores análises e comparações com a base de dados de inspeções previamente realizada, daí que sejam inspecionados todos os elementos da amostra.

A norma de classificação visual UNI 11119:2004 foi escolhida tendo em conta a sua aplicabilidade para elementos existentes em obra, sendo que também foi considerada a sua adequação à espécie de madeira em estudo.



**Figura 3.1:** Esquema de uma tábua e respetivos segmentos.

A medição dos parâmetros de classificação foi feita com especial atenção aos nós e ao alinhamento do fio encontrado em cada elemento e em cada segmento. No caso dos nós foi considerado o menor diâmetro como especifica a norma UNI 11119:2004. Em relação ao alinhamento do fio, foi considerada a medição num segmento onde não existissem defeitos que alterassem o alinhamento, tais como nós, de forma a obter uma medição representativa do elemento. As ferramentas utilizadas foram uma régua (precisão de 1 mm), fita métrica (precisão de 1 cm), máquina de calcular e transferidor como se apresenta na figura 3.2.

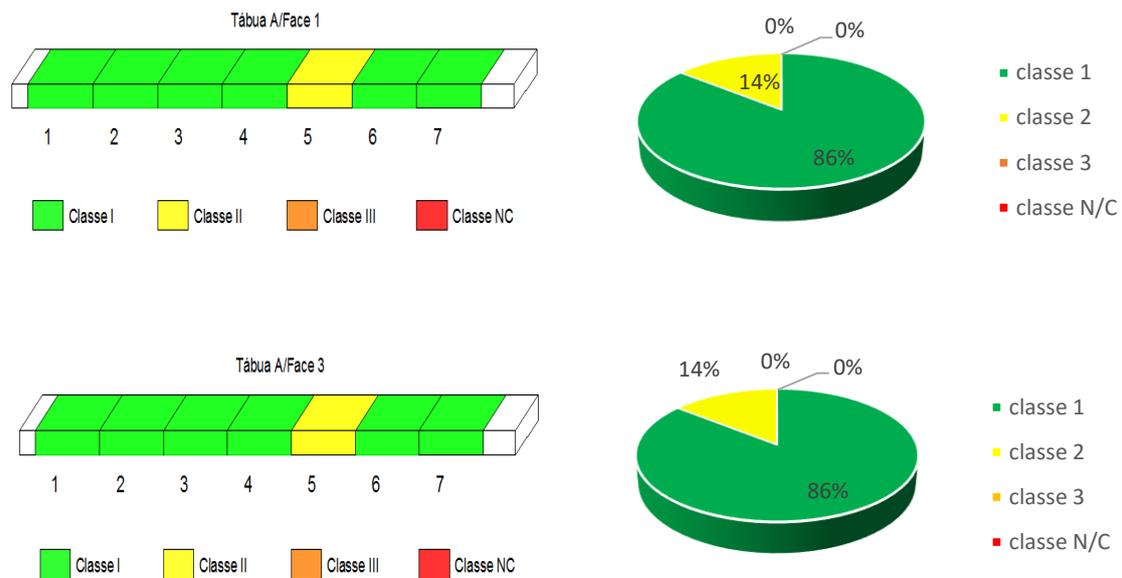


**Figura 3.2:** Ferramentas de medição utilizadas na inspeção visual.

### **3.2 Resultados da inspeção**

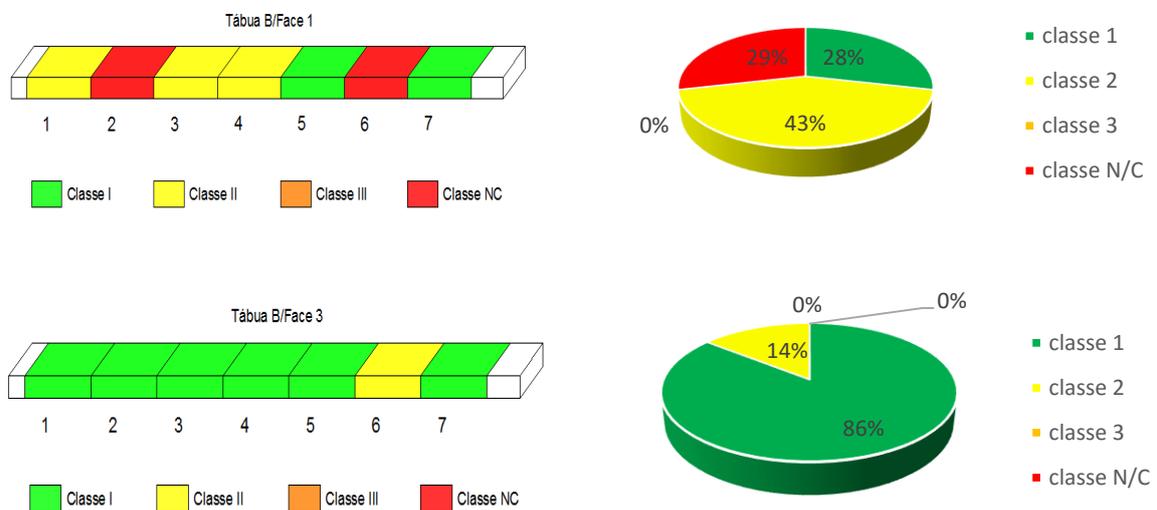
Neste tópico são apresentados os resultados da inspeção tendo em conta cada um dos elementos (tábuas numeradas de A a G). Para cada elemento é dada uma descrição dos principais defeitos encontrados e respetiva classificação. O defeito crítico (ou seja, aquele que define a classificação) é apresentado para cada segmento no Anexo 2.

Tábua A: depois da inspeção visual verifica-se que esta é classificada com classe I e II em todos os segmentos, ou seja, não foram encontrados defeitos significativos ao longo da sua extensão. Neste elemento verificou-se que todos os segmentos apresentam uma classe visual I à exceção do segmento 5 com classe II, tanto para a face 1 como para a face 3.



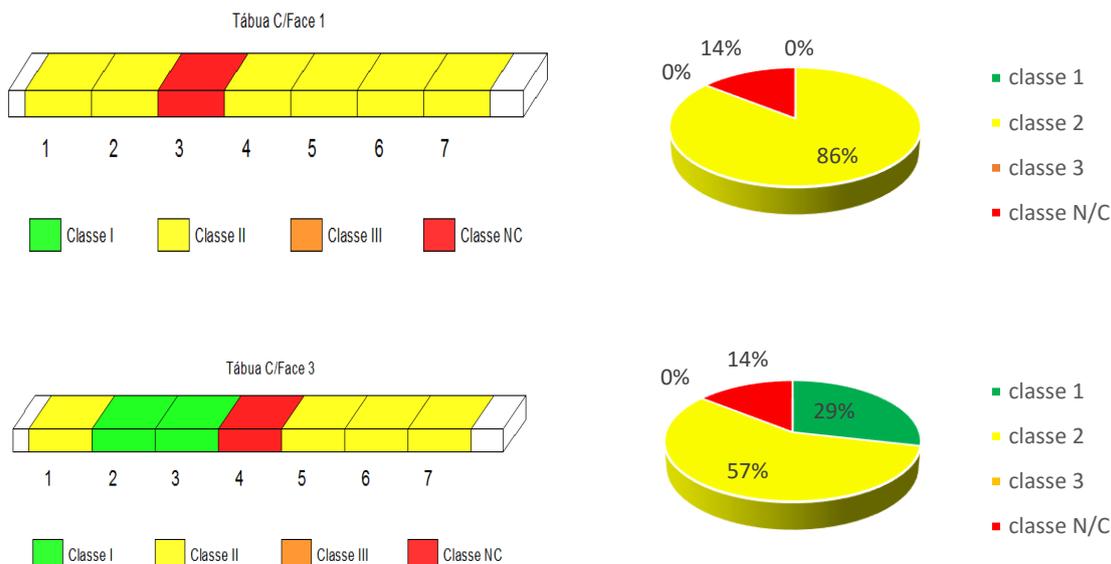
**Figura 3.3:** Tábua A e respectivas classes segundo a norma UNI 11119:2004.

Tábua B: No caso deste elemento foram encontrados segmentos com classificação NC, nomeadamente nos segmentos 2 e 6 (face 1). Neste caso, os limites dos parâmetros de classificação visual foram excedidos devido à dimensão de nós isolados encontrados nestes segmentos.



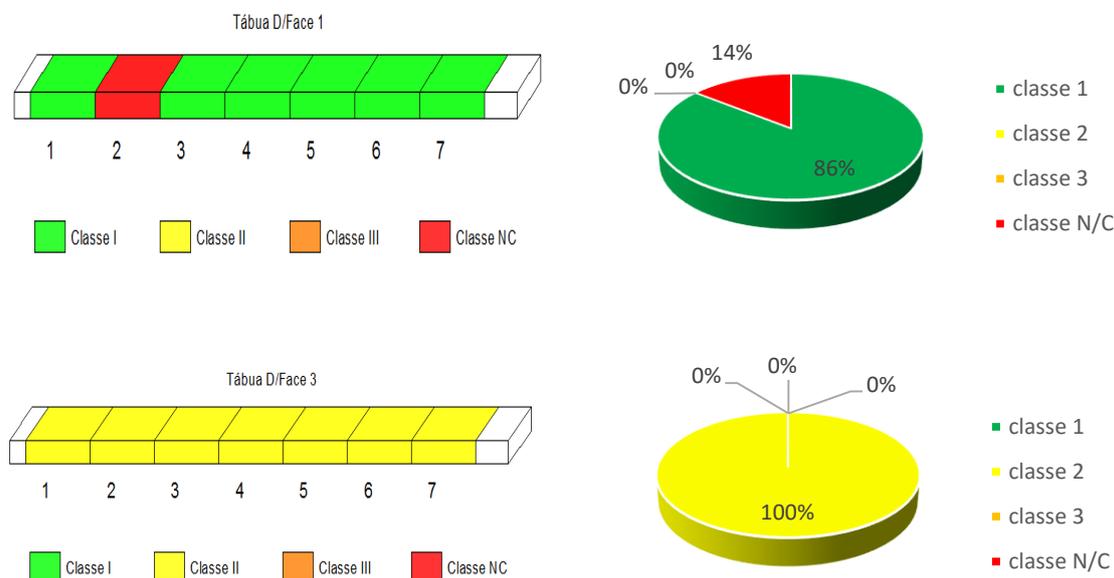
**Figura 3.4:** Tábua B e respectivas classes segundo a norma UNI 11119:2004

Tábua C: Os segmentos 3 e 4, nas respectivas faces 1 e 3, foram considerados NC devido a uma fenda de grandes dimensões, sendo que os restantes segmentos foram classificados como classe II.



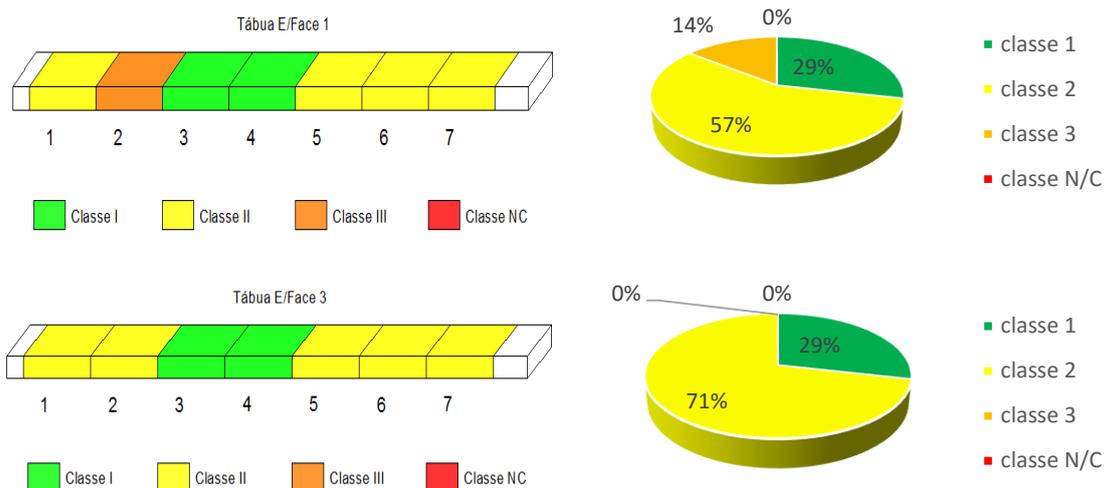
**Figura 3.5:** Tábua C e respectivas classes segundo a norma UNI 11119:2004

Tábua D: Devido à presença de nós agrupados no segmento 2, com limites superiores ao permitido para classe III, este elemento foi classificado como NC. De salientar que os restantes segmentos nessa face seriam classificados como classe I, enquanto, na face 3, todos os segmentos seriam considerados como classe II.



**Figura 3.6:** Tábua D e respectivas classes segundo a norma UNI 11119:2004

Tábua E: Devido à presença de nós agrupados no segmento 3, com limites superiores ao permitido para classe II, este elemento foi classificada como classe III. Verifica-se para os restantes segmentos que a inspeção dos elementos entre faces é igual.

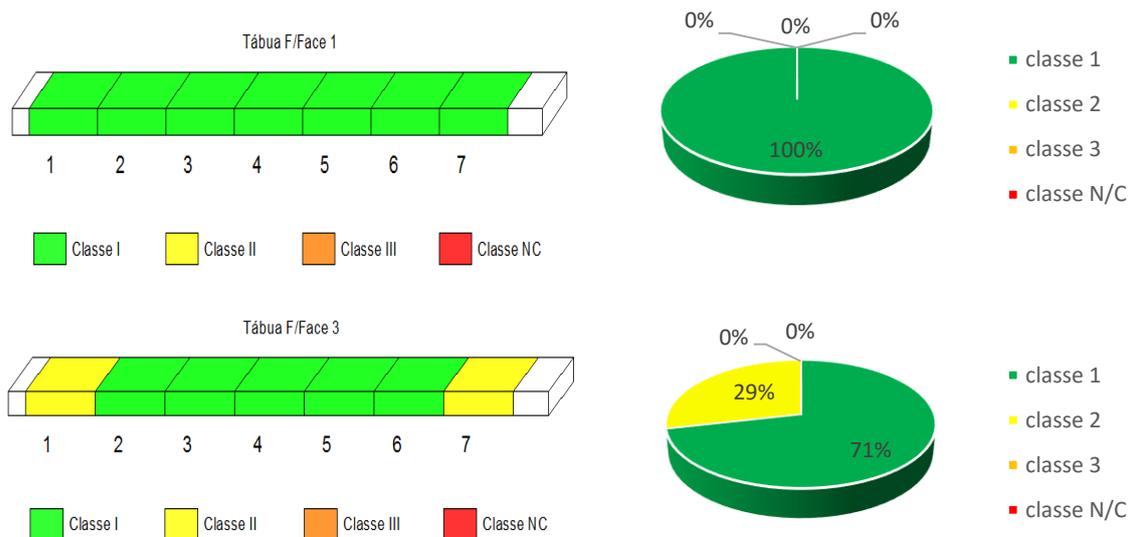


**Figura 3.7:** Tábua E e respectivas classes segundo a norma UNI 11119:2004

Tábua F: tábua que apresenta classe I e II com fendas ligeiras. Como se pode averiguar na figura 3.8, a tábua F é um elemento com uma inclinação do fio reduzida assim como não apresentando qualquer nó relevante. No segmento 3 (face 3) e segmento 6 (face 3) foram encontrados um conjunto de nós agrupados e também nós isolados de menor relevância.

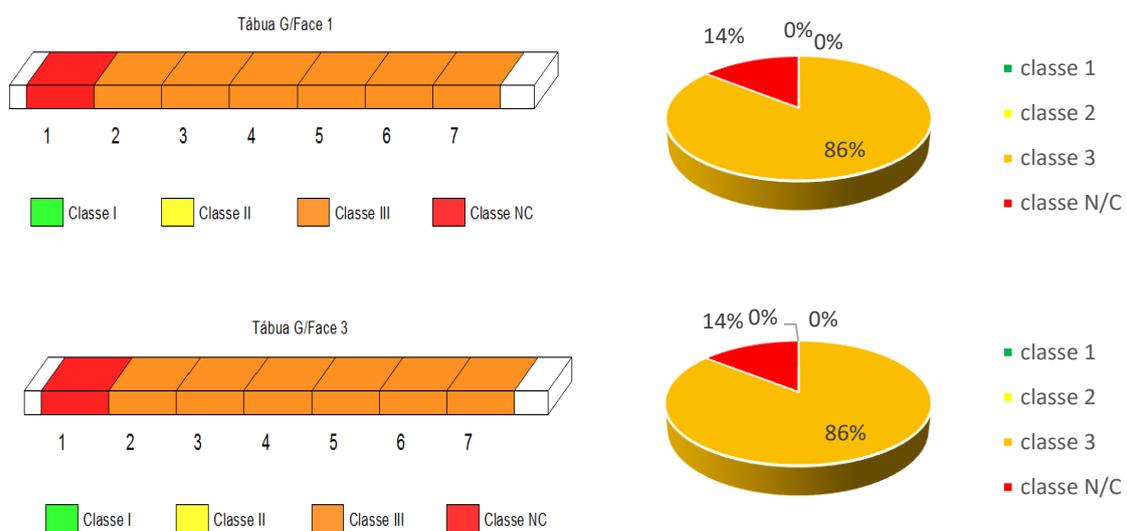


**Figura 3.8:** Segmento da tábua F sem qualquer defeito.



**Figura 3.9:** Tábua F e respetivas classes segundo a norma UNI 11119:2004

Tábua G: O segmento crítico deste elemento, em termos de inspeção visual, é encontrado para o segmento 1 face 1 e 3, sendo dada uma classificação de NC. Como apresentado na figura 3.11, esta classificação é obtida devido a um nó de canto de grandes dimensões. Verificou-se também uma grande inclinação do alinhamento do fio para os restantes segmentos como apresentado na figura 3.12. Devido a estes defeitos, o elemento G é aquele que apresenta uma maior percentagem de classes inferiores como mostra a figura 3.10.



**Figura 3.10:** Tábua G e respetivas classes segundo a norma UNI 11119:2004



**Figura 3.11:** Segmento 1 da tábua G.



**Figura 3.12:** Inclinação elevada do Fio da tábua G.

### 3.3 Conclusões

Com base na informação retirada, conclui-se que o elemento com mais segmentos com classe I é a tábua F principalmente no que corresponde à face 1. O elemento com mais segmentos com classe II é a tábua D. O elemento com mais segmentos com classe III é a tábua G. Por último o elemento com mais segmentos não classificáveis é a tábua B, nomeadamente considerando a face 1.

Atendendo às classificações por segmento, apresentadas na Tabela 3.1., o parâmetro mais condicionante foi a dimensão dos nós em relação à largura da face em que se encontravam.

Apesar de não ser o objetivo desta dissertação, deverá ser mencionado que se numa obra existir algum segmento de classe III ou não classificável estes deverão ser alvos de maior estudo em termos de análise de segurança, podendo ser necessário proceder a uma intervenção (reforço ou substituição) caso o nível de carga seja superior ao nível de resistência fornecido pelo elemento.

**Tabela 3.1:** Resumo da inspeção visual aos sete elementos e respectivos segmentos através da norma UNI 11119:2004, com indicação do parâmetro que limitou a classificação.

Elementos		Segmento													
		1		2		3		4		5		6		7	
A	1	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó	I	X	I	X
	3	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó	I	X	I	X
B	1	II	Fio	N/C	Nó	II	Fio	II	Nó	I	X	N/C	Nó	I	X
	3	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó	I	X
C	1	II	Fio	II	Nó	N/C	Fenda	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio
	3	II	Fio	I	X	I	X	N/C	Fenda	II	Fio	II	Fio	II	Fio
D	1	I	X	N/C	Nó	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X
	3	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio
E	1	II	Fio	III	Nó	I	X	I	X	II	Fio	II	Fio	II	Fio
	3	II	Fio	II	Fio	I	X	I	X	II	Fio	II	Fio	II	Fio
F	1	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X
	3	II	Nó	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó
G	1	N/C	Nó	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio
	3	N/C	Nó	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio

**Nota:** X = classe I, não há nada condicionante, ou seja, não existe nada que ultrapasse as condições.

## 4. AVALIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS EXISTENTES

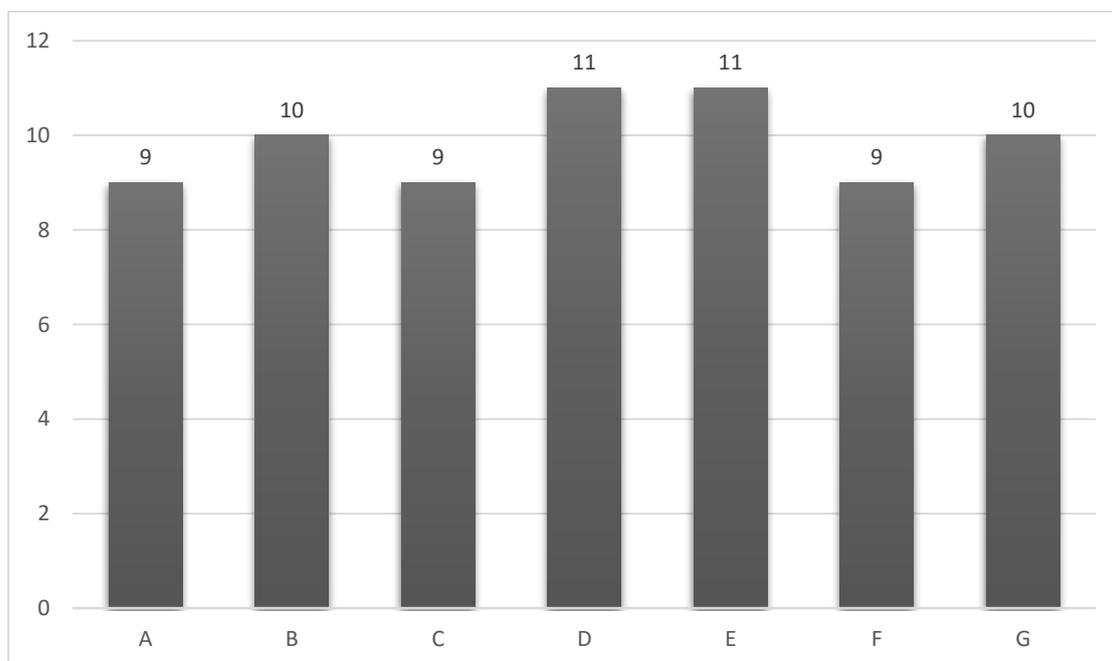
### 4.1 Introdução

Neste capítulo é feita uma análise a dados já existentes de 15 inspetores, que inspecionaram os elementos de madeira analisados no capítulo 3 tendo em conta a distribuição de inspeções apresentada na figura 4.1. Esses inspetores seguiram a norma UNI11119:2003, sendo os parâmetros analisados os diâmetros mínimos e máximos dos nós e o alinhamento do fio.

Para determinação da incerteza da medição, o diâmetro mínimo dos nós foi escolhido como parâmetro de análise, sendo este comparado com a inspeção visual realizada no capítulo 3. Por último será feita também uma análise à influência desse defeito tendo em conta a dimensão do elemento.

### 4.2 Base de dados

Como se pode verificar na figura 4.1, os elementos não foram todos classificados pelos mesmos inspetores, por exemplo o elemento A só teve 9 inspetores a fazer a sua inspeção visual. Salienta-se que nenhum inspetor, nesta base de dados, procedeu à inspeção visual a todos os elementos.



**Figura 4.1:** Número de inspetores por elemento

No Anexo 3 é apresentado a distribuição das inspeções feitas por cada um dos inspetores, sendo visível que a maioria dos inspetores fez inspeção a 5 elementos, sendo que existe também inspetores que produziram somente 3 a 4 inspeções.

### 4.3 Análise dos dados

Para apresentação dos resultados foi escolhida a inspeção da tábua B pelo inspetor 4, por esta ter uma classificação em ambas as faces que merecem atenção. Os resultados completos para uma amostra dos outros inspetores é apresentada no anexo 4. Os resultados finais e conclusões representam a análise global de todos os inspetores.

Na tabela 4.1 é apresentada a classificação por segmento, a caracterização dos nós e a inclinação do fio, encontrados pelo inspetor 4.

**Tabela 4.1:** Tabela de inspeção e inventário de defeitos, inspetor 4, elemento B.

Inspetor 4		Segmento	Nós isolados (mm)		Fio %	Nós agrupados (mm)		Classe
Elemento	Face		$D_{min}$	$D_{max}$		$D_{min}$	$D_{max}$	
B	1	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	159	186	NC
		3	--	--	17	--	--	I
		4	7	60	17	--	--	I
		5	18	43	17	--	--	II
		6	45	96	17	--	--	NC
		7	--	--	17	--	--	I
	3	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	III
		3	--	--	17	--	--	III
		4	--	--	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
		6	22	55	17	--	--	III
		7	--	--	17	--	--	I

Tendo em perspectiva o conjunto de avaliações efetuadas por todos os inspetores, a tabela 4.2 apresenta a média total dos diâmetros mínimos e máximos dos nós agrupados e isolados para as medições feitas pelos inspetores à tábua B. Esta análise foi feita para todas as 7 tábuas, respetivamente aos 7 elementos por tábua, seguindo o exemplo da tabela 4.2, sendo que para as outras tábuas os resultados são apresentados no anexo 4.

**Tabela 4.2:** Tabela com a análise da média total para a tábua B (os outros elementos seguem em Anexo7).

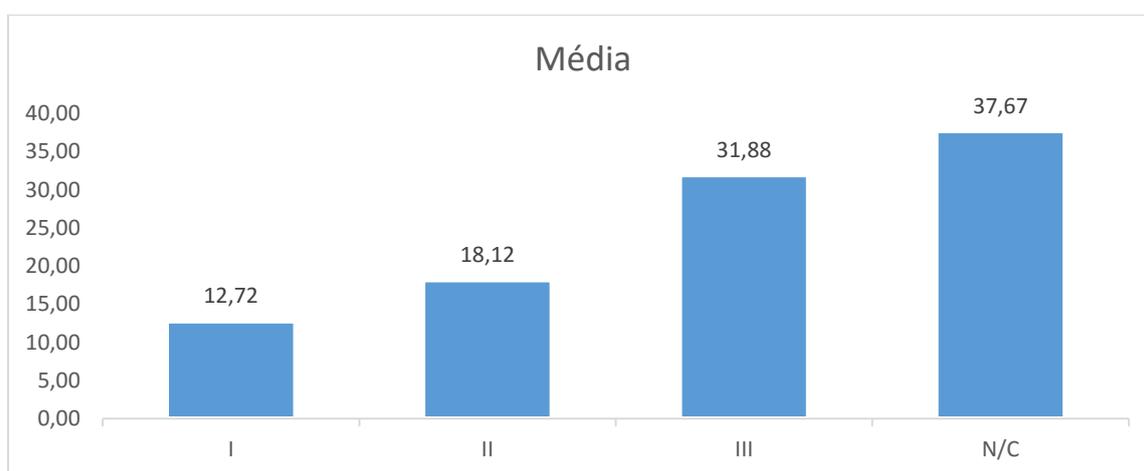
Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		$D_{min}$	$D_{max}$	$D_{min}$	$D_{max}$
<b>B</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	26,67	35,00	--	--
		<b>2</b>	16,75	26,25	74,25	155,00
		<b>3</b>	60,00	--	16,00	57,50
		<b>4</b>	18,29	38,50	35,00	102,00
		<b>5</b>	21,00	17,71	10,00	90,00
		<b>6</b>	37,88	69,75	55,00	100,00
		<b>7</b>	7,00	20,00	10,00	45,00
	<b>3</b>	<b>1</b>	--	--	--	--
		<b>2</b>	25,00	45,50	--	--
		<b>3</b>	--	--	--	--
		<b>4</b>	--	--	--	--
		<b>5</b>	--	--	--	--
		<b>6</b>	31,00	50,25	28,00	60,00
		<b>7</b>	--	--	--	--

A tabela 4.3 apresenta o coeficiente de variação (razão entre o desvio padrão e a média) dos 10 inspetores. A informação relativa aos restantes inspetores e elementos seguem em Anexo 8. De salientar que os valores de coeficiente de variação são elevados, principalmente no caso da avaliação do diâmetro mínimo, tanto para nós isolados como para nós agrupados. Os valores de desvio padrão seguem no Anexo 9, e serão alvo de análise na determinação da incerteza, no capítulo 5 desta dissertação.

Na figura 4.2 temos a média do diâmetro mínimo por classes para todos os inspetores. Os valores aumentam de classe para classe tendo em conta os limites dados na norma para a avaliação deste defeito, ou seja, o limite referente ao rácio do diâmetro menor com a largura do elemento.

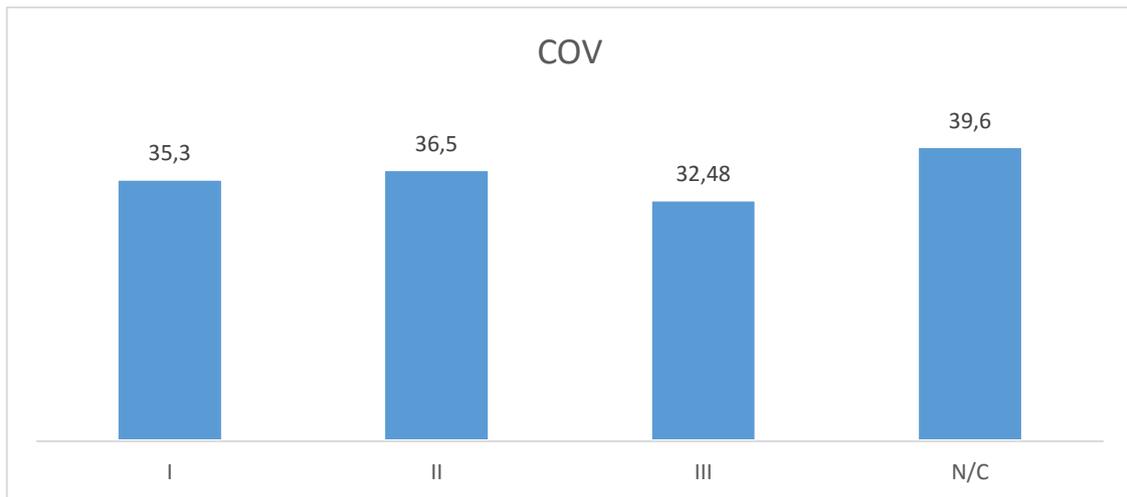
**Tabela 4.3:** Tabela com análise do coeficiente de variação para a tábua B.

Total (CV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		$D_{min}$	$D_{max}$	$D_{min}$	$D_{max}$
<b>B</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	108,3	0,0	--	--
		<b>2</b>	53,0	86,1	78,2	25,3
		<b>3</b>	--	--	26,5	43,0
		<b>4</b>	60,8	58,4	88,9	79,0
		<b>5</b>	114,1	63,1	--	--
		<b>6</b>	35,2	36,6	--	--
		<b>7</b>	--	--	--	--
	<b>3</b>	<b>1</b>	--	--	--	--
		<b>2</b>	0,0	1,6	--	--
		<b>3</b>	--	--	--	--
		<b>4</b>	--	--	--	--
		<b>5</b>	--	--	--	--
		<b>6</b>	89,9	52,5	--	--
		<b>7</b>	--	--	--	--



**Figura 4.2:** Média  $D_{min}$  para todos os inspetores.

Da figura 4.3 é concluído que o COV se mantém praticamente igual de uma classe para outra.



**Figura 4.3:** Coeficiente de variação de todos os inspetores

#### 4.4 Probabilidade de deteção de um defeito

Neste tópico é avaliada a probabilidade de deteção de um defeito por uma amostra de inspetores, tendo em conta que um desses inspetores encontrou um defeito. Esta análise é importante para saber se o defeito é encontrado por todos os inspetores ou não, e em que medida o defeito é encontrado. Assim é possível avaliar não só a incerteza na medição de um defeito mas também da sua deteção. Para esse efeito é calculado o valor de  $P_D$  (probabilidade de deteção), tendo como variáveis:

$$P_D = P(B|A) \quad (4.1)$$

Sendo:

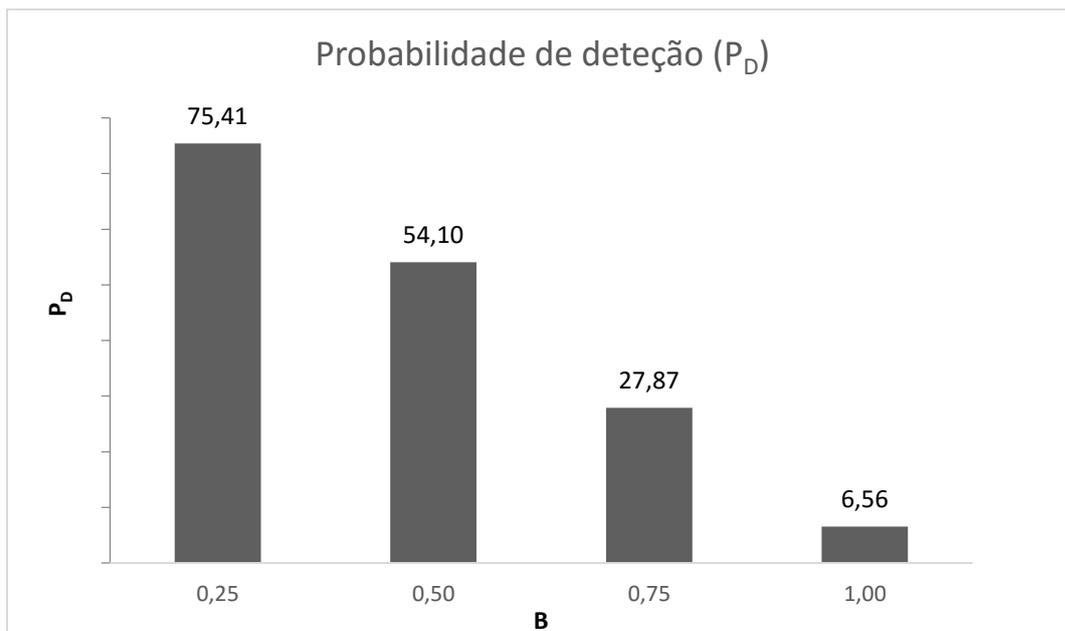
$P_D$  = Probabilidade de deteção.

B = Probabilidade de x % de inspetores encontrarem esse defeito.

A = Um inspetor ter encontrado esse defeito.

No gráfico 4.4 verifica-se uma tendência, expectável, em que a probabilidade diminui quanto maior for o número de inspetores a encontrar um determinado defeito. Esta tendência não é linear, sendo que para o valor de 100% dos inspetores a encontrar o mesmo defeito, apresenta uma descida mais significativa.

Para defeitos de maior dimensão, a probabilidade de serem detetados é mais elevada, porque quando havia defeitos de maior dimensão (com classes inferiores), maior número de inspetores os localizavam.

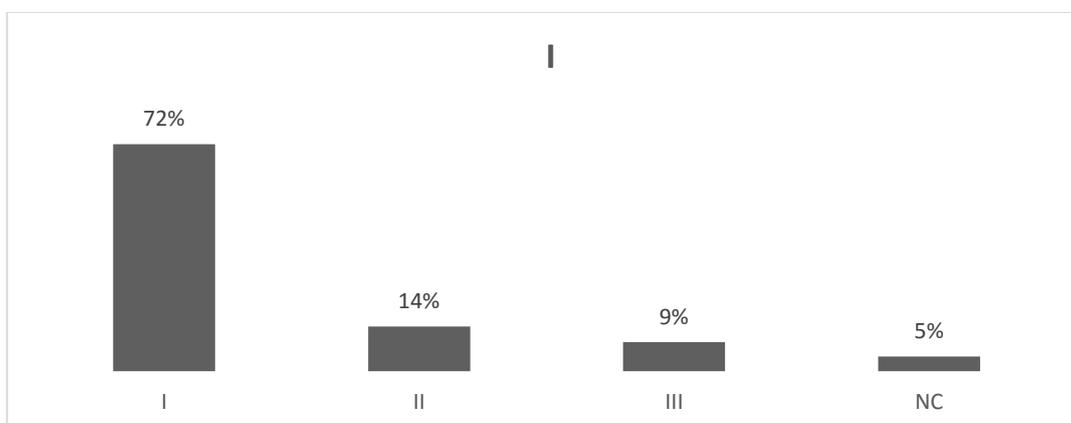


**Figura 4.4:** Probabilidade de deteção de um defeito dado que x (%) de inspetores encontraram esse defeito.

#### 4.5 Comparação com inspeção visual prévia

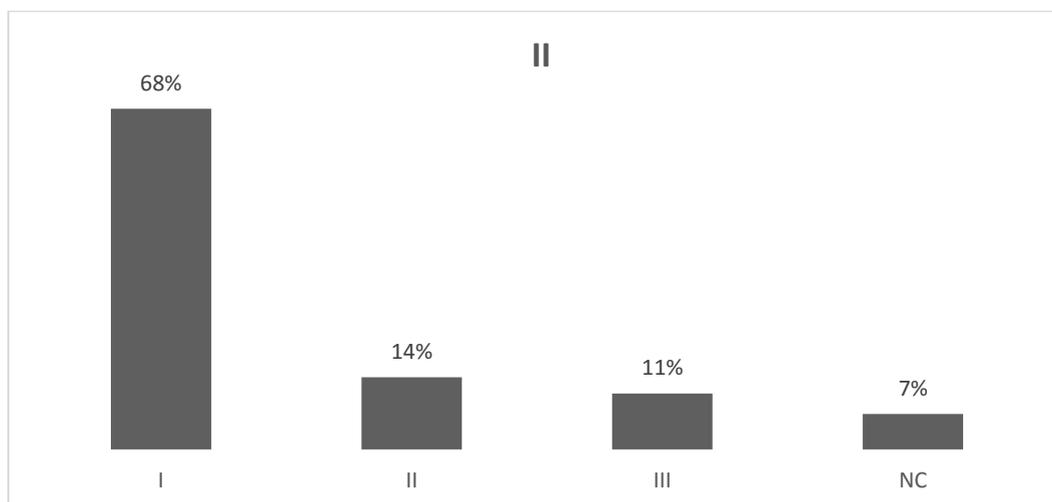
Neste tópico foram realizadas comparações com os inspetores que fizeram a sua inspeção visual com a inspeção descrita do capítulo 3.

Na inspeção realizada no capítulo 3 houve segmentos que foram classificados como classe I, sendo que se verifica que nas inspeções realizadas por outros inspetores existe uma percentagem de 72% em que também foi considerada essa mesma classificação (Figura 4.5).



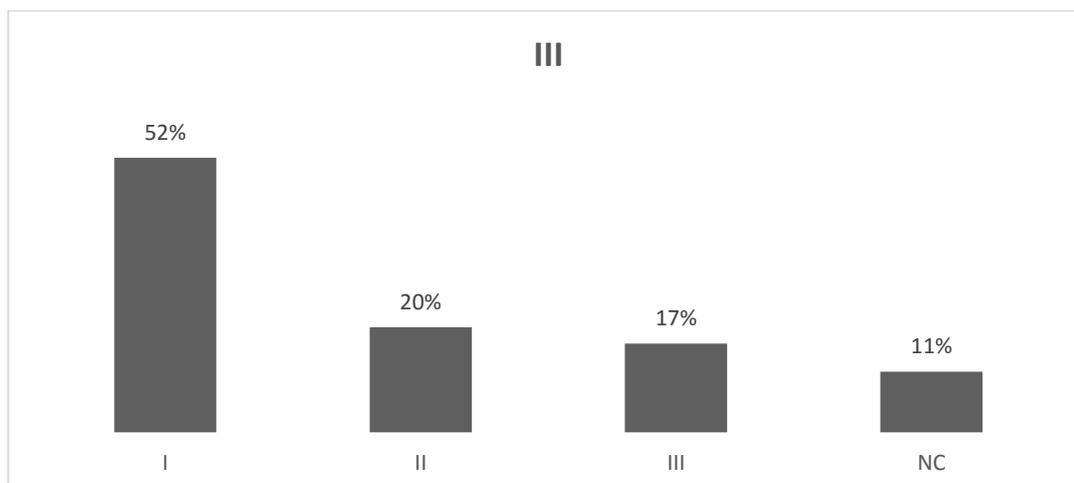
**Figura 4.5:** Percentagem de inspeções para cada classe, dado que a inspeção prévia (capítulo 3) apresenta classe I.

Para os elementos que foram classificados previamente como classe II verifica-se que somente 14% dos inspetores também consideraram a mesma classe de inspeção, sendo que a maioria continua a definir os seus elementos como pertencentes à classe I, como mostra a figura 4.6.



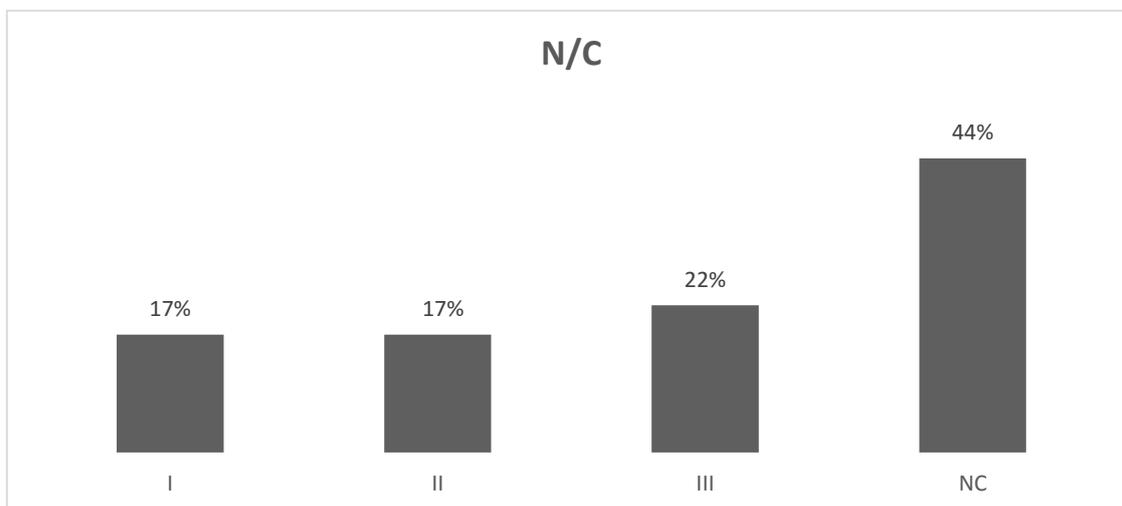
**Figura 4.6:** Percentagem de inspeções para cada classe, dado que a inspeção prévia (capítulo 3) apresenta classe II.

Uma situação análoga é verificada para quando foi considerada uma classe III, sendo que neste caso os restantes inspetores consideraram em 52% dos casos os elementos como classe I, e 20% ainda com classe II, como mostra a figura 4.7.



**Figura 4.7:** Percentagem de inspeções para cada classe, dado que a inspeção prévia (capítulo 3) apresenta classe III.

No caso da inspeção prévia ter considerado uma classificação de NC (não classificado) verifica-se que existe uma maior percentagem de inspetores que concordam com essa inspeção, respetivamente em 44% das inspeções, conforme apresentado na figura 4.8.



**Figura 4.8:** Percentagem de inspeções para cada classe, dado que a inspeção prévia (capítulo 3) apresenta classe NC.

Numa perspetiva global, verifica-se que o número de segmentos com classes superiores diminui conforme a classificação feita previamente, sendo que nas classes extremas (classe I e NC) existe uma maior correspondência entre os resultados de todas as inspeções. Dessa forma, é visível que existe um limite transitório mais relevante entre as classes iniciais e a classe NC.

#### 4.6 Análise da dimensão do elemento

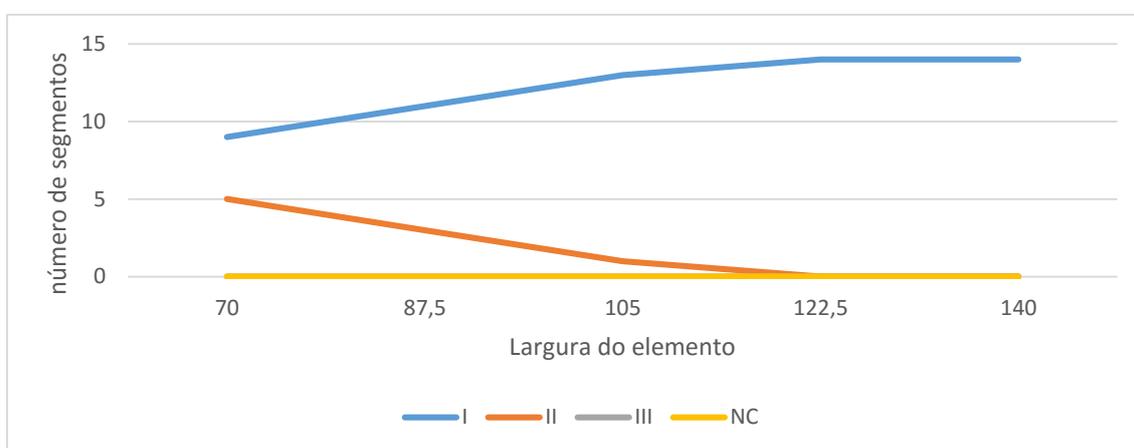
No tópico seguinte é feita uma análise para determinar a influência do aumento da largura na determinação da classe de inspeção visual, mantendo a dimensão do diâmetro mínimo dos nós. Esta análise é realizada para determinar o efeito na classificação, tendo em conta um parâmetro de classificação que depende do rácio da dimensão de um defeito com a dimensão do elemento. De salientar que o aumento do volume de madeira implica o aumento da probabilidade de encontrar defeitos. De referir também que, de forma a simplificar a análise, a existência de novos defeitos não foi considerada.

Nesta análise, em relação aos nós, temos nas tabelas diferentes valores para a largura do elemento, e valores correspondentes de elementos classificados com determinada classe visual. Conforme se verifica na figura 4.9 e na tabela 4.3, o aumento da largura implica

o aumento de elementos com classes mais elevadas, sendo previsível esse resultado já que aumentando a largura do elemento a influência do defeito diminui.

**Tabela 4.3:** Influência do aumento da largura para a classificação realizada pela média dos diâmetros mínimos da tábua A.

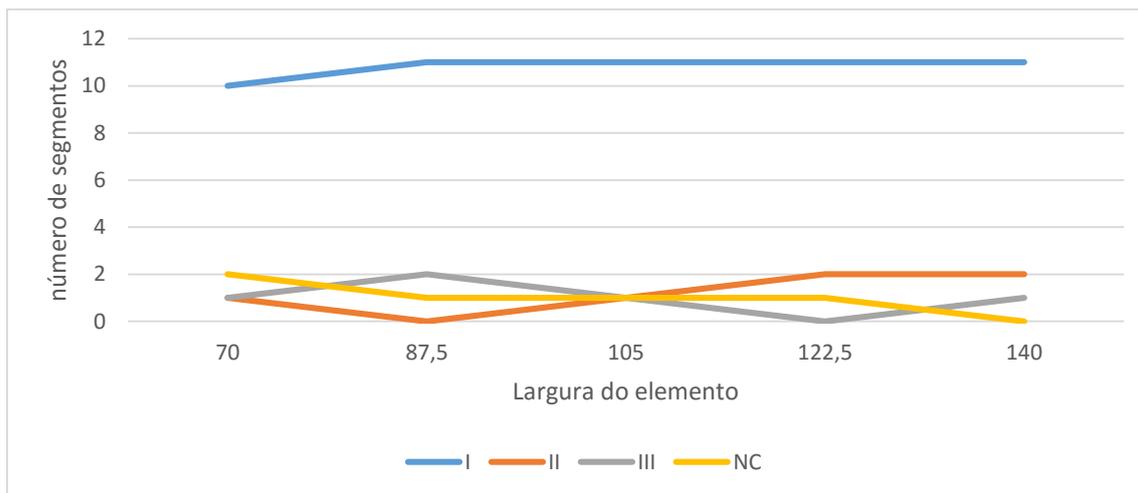
Altura	I	II	III	NC
70	9	5	0	0
87,5	11	3	0	0
105	13	1	0	0
122,5	14	0	0	0
140	14	0	0	0



**Figura 4.9:** Número de segmentos vs. largura do elemento

**Tabela 4.4:** Influência do aumento da largura na classificação realizada pela média dos diâmetros mínimos da tábua B.

Altura	I	II	III	NC
70	6	3	3	2
87,5	7	4	2	1
105	9	3	1	1
122,5	9	4	1	0
140	11	2	1	0



**Figura 4.10:** Número de segmentos vs. largura do elemento.

Numa análise global, verifica-se que para todos os elementos é necessário (em média) um acréscimo de 62.5% na largura do elemento de forma que todos segmentos fossem classificados como classe I, tabela 4.4 e figura 4.10 Para os restantes casos, como mostra a figura 4.9 e a tabela 4.4, mesmo com um acréscimo de 100%, estes não passariam para classe I. Os restantes elementos seguem em anexo 10.

#### 4.7 Conclusões

Depois da avaliação de dados a 15 inspetores, foi escolhido como exemplo para apresentação de defeitos o inspetor 4 e a tábua B. De seguida, no total da média, foi escolhida a tábua B de todos os inspetores. Na tabela 4.3 é apresentada a razão entre o desvio padrão e a média, ou seja, o coeficiente de variação (COV).

Na comparação com a prévia inspeção verifica-se que o número de segmentos com classes superiores diminui conforme a classificação, sendo que nas classes extremas (classe I e NC) existe uma maior correspondência entre os resultados de todas as inspeções.

Na análise da dimensão do elemento, o aumento da largura implica o aumento de elementos com classes mais elevadas, sendo previsível esse resultado já que aumentando o dobro a largura do elemento a influência do defeito nesse mesmo elemento diminui.

Em termos de probabilidade de deteção é verificado que a probabilidade diminui quando se pretende ter um maior número de inspetores a detetar o mesmo defeito.

Em termos globais, verifica-se que em conjunto com o aumento da média do diâmetro do defeito existe também um aumento na variabilidade dos resultados para cada amostra.

## **5. INCERTEZA NA INSPEÇÃO VISUAL E SEUS ERROS**

### **5.1 Introdução**

A incerteza em medições experimentais pode ser quantificada de diferentes formas e através de diferentes metodologias e, como tal, é necessário estabelecer uma forma coerente e inequívoca para quantificar essa incerteza. Tendo em conta as diferentes medições, inspeções e análises já realizadas nesta dissertação, será aplicada a norma JCGM 100:2008 que permite estabelecer regras gerais para avaliar e expressar a incerteza de medição, regras essas que podem ser seguidas em vários níveis de exatidão e em muitos campos de atuação. Os princípios desta norma são aplicáveis a um amplo espectro de medições, incluindo aquelas necessárias para:

- manter o controle da qualidade e a garantia da qualidade na produção;
- respeitar e fazer cumprir leis e regulamentos;
- calibrar padrões e instrumentos e executar ensaios no contexto de um sistema nacional de medição, de forma a obter uma rastreabilidade de padrões nacionais;
- desenvolver, manter e comparar padrões físicos de referência, nacionais e internacionais, incluindo materiais de referência.

Esta norma está primariamente relacionada com a expressão da incerteza na medição de uma grandeza física bem definida - o mensurando - que pode ser caracterizada por um valor único. Se o fenómeno de interesse pode ser representado somente como uma distribuição de valores ou é dependente de um ou mais parâmetros, tal como o tempo, então os mensurandos requeridos para sua descrição são o conjunto de grandezas que descrevem a distribuição e/ou sua dependência.

A norma JCGM 100:2008 é também aplicável à avaliação e expressão da incerteza associada ao projeto conceitual e à análise teórica de resultados de ensaios ou experimentos, de métodos de medição e de componentes e sistemas complexos. Uma vez que o resultado de uma medição e sua incerteza podem ser conceituais, e baseados inteiramente em dados hipotéticos, o termo “resultado de uma medição”, tal como é usado nessa norma, deve ser interpretado nesse sentido mais amplo.

Esta norma fornece regras gerais para avaliar e expressar a incerteza de medição em vez de instruções detalhadas sobre tecnologias específicas. Além disso, ele não discute como a incerteza de um determinado resultado de medição, uma vez avaliada, pode ser utilizada para diferentes finalidades, como, por exemplo, tirar conclusões sobre a compatibilidade daquele resultado com outros resultados similares, estabelecer limites de tolerância em um processo de fabricação, ou decidir se uma determinada linha de ação poderá ser adotada com segurança. Pode, portanto, ser necessário desenvolver normas específicas, baseadas nesta norma, que tratem dos problemas peculiares aos campos específicos de medição ou às várias utilizações das expressões quantitativas de incerteza.

Neste capítulo a norma JCGM 100:2008 será utilizada para determinar o valor da incerteza relacionada com a base de inspeções visuais analisada nos capítulos anteriores. Para esse efeito será considerado a incerteza relacionada com os resultados da inspeção e com a mudança de escalas entre elementos inspecionados e estruturais. Os valores a determinar, nomeadamente o desvio padrão experimental e a incerteza-padrão, serão relacionados com os valores obtidos na base de dados referentes à medição do menor diâmetro dos nós em relação à largura do elemento. Este parâmetro foi escolhido tendo em conta a sua significância na atribuição da classe visual a cada segmento de cada elemento de madeira analisado.

## **5.2 Normalização e conceitos básicos**

As instituições que ajudaram a construir a JCGM 100:2008, através das suas próprias normas e especificações, foram as seguintes:

- BIPM: Bureau International des Poids et Mesures (Birô Internacional de Pesos e Medidas) ;
- IEC: International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional);
- IFCC: International Federation of Clinical Chemistry (Federação Internacional de Química Clínica);
- ISO: International Organization for Standardization (Organização Internacional para a Normalização);
- IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada);

- IUPAP: International Union of Pure and Applied Physics (União Internacional de Física Pura e Aplicada);
- OIML: International Organization of Legal Metrology (Organização Internacional de Metrologia Legal).

De seguida serão apresentados os conceitos básicos conforme recolhidos nas normas anteriormente referidas:

**O mensurando:** O primeiro passo quando se efetua uma medição é especificar o mensurando - a grandeza a ser medida; o mensurando não pode ser especificado por um valor, mas somente por uma descrição de uma grandeza. Entretanto, em princípio, um mensurando não pode ser completamente descrito sem um número infinito de informações. Assim, na medida em que deixa margem a interpretação, a definição incompleta do mensurando introduz, na incerteza do resultado de uma medição, uma componente de incerteza que pode ou não ser significativa para a exatidão requerida da medição.

**A grandeza realizada:** Idealmente, a grandeza realizada para medição deveria ser totalmente consistente com a definição do mensurando. Frequentemente, tal grandeza não pode ser realizada e a medição é efetuada numa grandeza que é uma aproximação do mensurando.

**O valor “verdadeiro” e o valor corrigido:** O resultado da medição da grandeza realizada é corrigido pela diferença entre esta grandeza e o mensurando, de forma a prever qual teria sido o resultado da medição se a grandeza realizada tivesse, de fato, satisfeito, integralmente, a definição do mensurando. O resultado da medição da grandeza realizada é também corrigido para todos os outros efeitos sistemáticos significativos reconhecidos. Embora o resultado corrigido final seja algumas vezes considerado como a melhor estimativa do valor “verdadeiro” do mensurando, na realidade o resultado é simplesmente a melhor estimativa do valor da grandeza que se pretendia medir.

**Erro:** Um resultado de medição corrigido não é o valor do mensurando – isto é, ainda contém erros – pois a medição da grandeza realizada é imperfeita devido a variações aleatórias das observações (efeitos aleatórios), da determinação inadequada de correções para efeitos sistemáticos, e do conhecimento incompleto de certos fenómenos físicos (também efeitos sistemáticos). Nem o valor da grandeza realizada, nem o valor do

mensurando, podem ser conhecidos exatamente pois tudo o que se pode saber são os seus valores estimados.

**Incerteza:** Ainda se os valores exatos das contribuições do erro de um resultado de uma medição sejam desconhecidos e desconhecíveis, as incertezas associadas com os efeitos aleatórios e sistemáticos que contribuem para o erro podem ser avaliadas. Porém, mesmo que as incertezas avaliadas sejam pequenas, ainda assim não há garantia de que o erro no resultado da medição seja pequeno. Isto porque, na determinação de uma correção ou no julgamento sobre a extensão em que o conhecimento é incompleto, um efeito sistemático pode ter passado despercebido por não ter sido reconhecido como tal. Assim, a incerteza de um resultado de uma medição não é necessariamente uma indicação de o quanto o resultado da medição está próximo do valor do mensurando; ela é simplesmente uma estimativa de o quanto se está próximo do melhor valor consistente com o conhecimento atualmente disponível. A incerteza de medição é assim uma expressão do fato de que, para um dado mensurando e um dado resultado de sua medição, não há um valor único, mas sim um infinito número de valores, dispersos em torno do resultado, todos eles consistentes com todas as observações e dados e com o conhecimento disponível sobre o mundo físico, e que podem ser atribuídos ao mensurando com diferentes graus de credibilidade.

**Desvio-padrão** (de uma variável aleatória ou de uma distribuição de probabilidade): A raiz quadrada positiva da variância, obtida através da seguinte equação:

$$\sigma = \sqrt{V(X)} \quad (5.1)$$

**Variância:** uma medida de dispersão, constituindo-se como a soma dos desvios quadráticos das observações em relação a sua média aritmética, sendo aquela soma dividida pelo número de observações menos um.

Exemplo para n observações  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , com média aritmética como mostra a equação 5.2.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.2)$$

### 5.3 As várias possibilidades de Incerteza

A palavra “incerteza” significa dúvida, e assim, no sentido mais amplo, “incerteza de medição” significa dúvida acerca da validade do resultado de uma medição. Devido à falta de palavras para este conceito geral de incerteza, e para as grandezas específicas que proporcionam medidas quantitativas do conceito, como, por exemplo, o desvio-padrão, é necessário utilizar a palavra “incerteza” nestas duas vertentes diferentes. Na norma JCGM 100:2008, a palavra “incerteza”, sem adjetivos, refere-se tanto ao conceito geral de incerteza como a qualquer uma ou todas as medidas quantitativas deste conceito. Quando uma medida específica é visada, são usados os adjetivos apropriados:

**Incerteza (de medição):** parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

**Incerteza-padrão:** incerteza do resultado de uma medição, expressa como um desvio-padrão.

**Avaliação do Tipo A (de incerteza):** método de avaliação de incerteza, pela análise estatística de séries de observações.

**Avaliação do Tipo B (de incerteza):** método de avaliação de incerteza por outros meios que não a análise estatística de séries de observações.

**Incerteza-padrão combinada:** incerteza-padrão do resultado de uma medição, quando este resultado é obtido por meio dos valores de várias outras grandezas, sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas.

**Incerteza expandida:** quantidade que define um intervalo em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

**Fator de abrangência:** fator numérico utilizado como um multiplicador da incerteza-padrão combinada de modo a obter uma incerteza expandida.

### 5.4 Incerteza-padrão

Nesta dissertação vai ser realizada uma avaliação da incerteza-padrão do tipo A, método de avaliação de incerteza pela análise estatística de séries de observações, sendo esta a

avaliação que melhor se adequa ao conjunto de dados disponível na base de dados, ou seja valores discretos de uma repetição de um experiência e/ou evento.

### **Avaliação da incerteza-padrão do Tipo A**

Na maioria dos casos, a melhor estimativa disponível da esperança ou valor esperado  $\mu_q$  de uma grandeza  $q$  que varia aleatoriamente, e para a qual  $n$  observações independentes  $q_k$  foram obtidas sob as mesmas condições de medição, é a média aritmética ou média  $\bar{q}$  das  $n$  observações como mostra a equação numero 5.3.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (5.3)$$

As observações individuais  $q_k$  diferem em valor por causa de variações aleatórias nas grandezas de influência, ou efeitos aleatórios. A variância experimental das observações, que estima a variância  $s^2$  da distribuição de probabilidade de  $q$ , como mostra a equação numero 5.4.

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (5.4)$$

Esta estimativa da variância e sua raiz quadrada,  $s(q_k)$ , denominada desvio-padrão experimental, caracterizam a variabilidade dos valores  $q_k$  observados ou, mais especificamente, a sua dispersão em torno de sua média.

A melhor estimativa de  $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma^2/n$ , a variância da média, como é dada na equação 5.5.

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (5.5)$$

A variância experimental da média,  $\sigma^2(\bar{q})$ , e o desvio-padrão experimental da média,  $s(\bar{q})$ , quantificam quão bem  $\bar{q}$  estima a esperança  $\mu_q$  de  $q$ , e qualquer um deles pode ser usado como uma medida da incerteza de  $\bar{q}$ . Assim, para uma grandeza de entrada  $X_i$  determinada por  $n$  observações repetidas e independentes,  $X_{i,k}$ , a incerteza-padrão  $u(xi)$  de sua estimativa  $x_i = \bar{X}_i$  é igual a  $u(xi) = s(\bar{X}_i)$ , com  $s^2(\bar{X}_i)$  calculada de acordo com a equação acima descrita. Por conveniência,  $u^2(xi) = s^2(\bar{X}_i)$  e  $u(xi) = s(\bar{X}_i)$  são por

vezes denominados de variância do Tipo A e de incerteza-padrão do Tipo A, respectivamente.

### **5.5 Aplicação à base de dados de inspeções visuais**

Neste ponto será avaliada a medição do diâmetro mínimo dos nós, tendo em conta a sua importância na atribuição da classe visual de cada elemento. Neste caso, o mensurando corresponde ao rácio entre o diâmetro mínimo dos nós e a largura da face em que este se encontra.

Para a determinação da incerteza foi considerado que a função do mensurando depende das seguintes variáveis: inspetor, elemento ou tábua e classe visual. Para os efeitos desta dissertação é considerado que a amostra é avaliada para o total de inspetores, de forma a medir a incerteza proveniente dessa amostra, e, assim sendo, da variabilidade de resultados dados por esses mesmos inspetores.

Numa primeira análise é considerada a obtenção do desvio padrão experimental e respetiva incerteza-padrão,  $u_i$ , tendo como variáveis o elemento e a classe de inspeção, conforme apresentado na Tabela 5.1. Neste caso, a amostra corresponde aos resultados obtidos em cada inspeção para cada elemento individualmente.

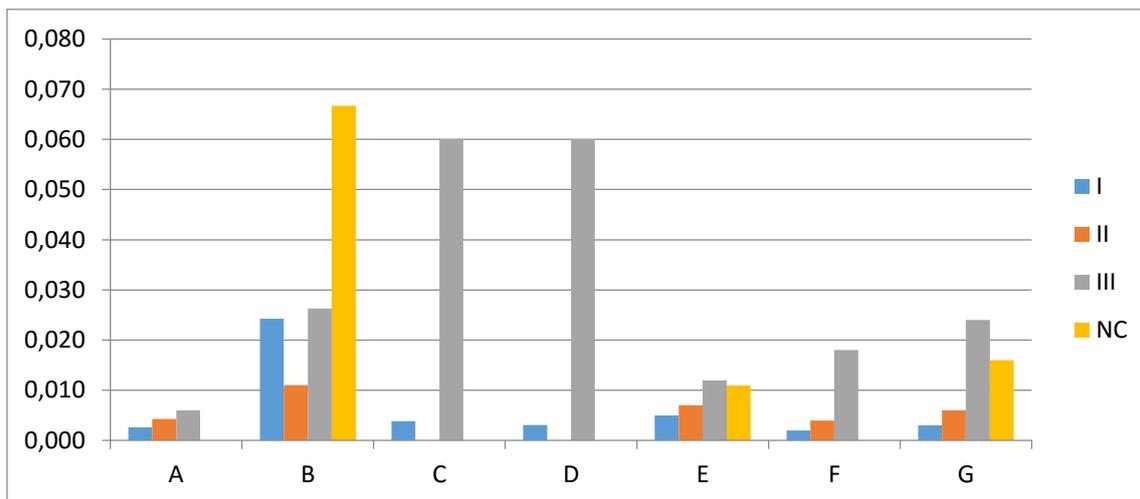
O primeiro valor de desvio padrão foi obtido para a escala do elemento (elementos separados) para todos os inspetores que realizaram a inspeção a esse elemento e separando por classes visuais. Os resultados da incerteza-padrão são resumidos na Tabela 5.2 e na Figura 5.1, onde se verifica que a incerteza-padrão pode variar significativamente entre elementos e entre classes. A diferença entre elementos é mais significativa, com valores mais elevados nomeadamente para os elementos B, C e D. Entre classes, verifica-se que existe uma tendência para que a incerteza-padrão aumente para classes visuais inferiores, nomeadamente classes III e NC. De notar que estes resultados são dados em termos de incerteza-padrão que neste caso é uma medida adimensional, pois resulta do rácio diâmetro mínimo / largura do elemento.

**Tabela 5.1:** Desvio padrão experimental e respetiva incerteza-padrão para os valores experimentais do rácio entre o diâmetro mínimo dos nós e a largura da face.

Tábua	Classe	Média	$s(\bar{q})$	$s^2(\bar{q})$
A	I	0,166	0,065	0,003
	II	0,272	0,064	0,004
	III	0,321	0,036	0,006
	NC	0,100	--	--
B	I	0,341	0,340	0,024
	II	0,274	0,133	0,011
	III	0,477	0,342	0,026
	NC	0,514	0,267	0,067
C	I	0,152	0,065	0,004
	II	0,157	--	--
	III	0,281	0,181	0,060
	NC	0,143	--	--
D	I	0,151	0,061	0,003
	II	0,157	--	--
	III	0,281	0,181	0,060
	NC	0,143	--	--
E	I	0,145	0,082	0,005
	II	0,249	0,138	0,007
	III	0,274	0,145	0,012
	NC	0,109	0,054	0,011
F	I	0,144	0,054	0,002
	II	0,247	0,079	0,004
	III	0,274	0,109	0,018
	NC	--	--	--
G	I	0,125	0,047	0,003
	II	0,163	0,074	0,006
	III	0,447	0,267	0,024
	NC	0,632	0,343	0,016

**Tabela 5.2:** Diferença do erro por elemento e classe.

Elemento	Incerteza-padrão por classe			
	I	II	III	NC
A	0,003	0,004	0,006	--
B	0,024	0,011	0,026	0,067
C	0,004	--	0,060	--
D	0,003	--	0,060	--
E	0,005	0,007	0,012	0,011
F	0,002	0,004	0,018	--
G	0,003	0,006	0,024	0,016



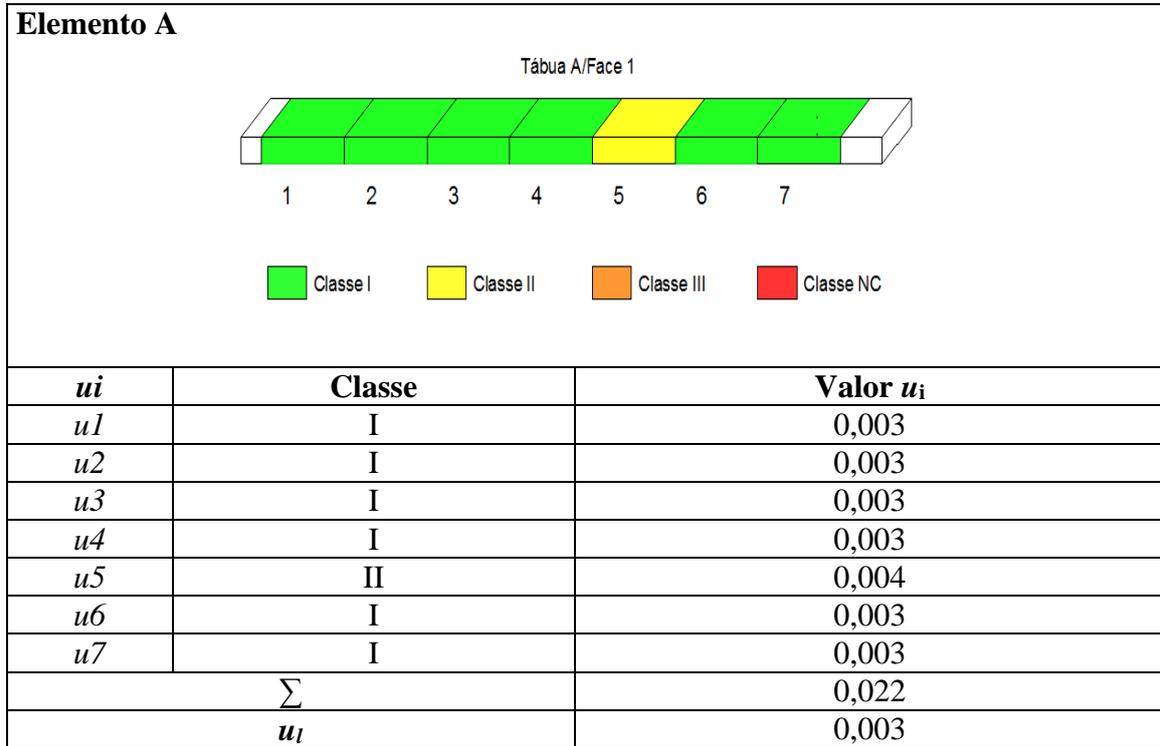
**Figura 5.1:** Valor da incerteza-padrão.

Obtido o valor de incerteza-padrão,  $u_i$ , e tendo em conta as medições efetuadas em cada elemento e cada classe, é necessário obter um valor que traduza a mudança de escala de segmento para elemento. Assim, para cada elemento, foram considerados os valores de incerteza-padrão para cada segmento,  $u_i$ , tendo em conta a classificação visual realizada nesta dissertação. Assim, pretende-se obter um valor de  $u_l$  definido como uma incerteza local por elemento. Para calcular o  $u_l$ , é feita a média dos  $u_i$  por elemento e, posteriormente, a média dos resultados obtidos para todos os elementos, como mostra a equação 5.6.

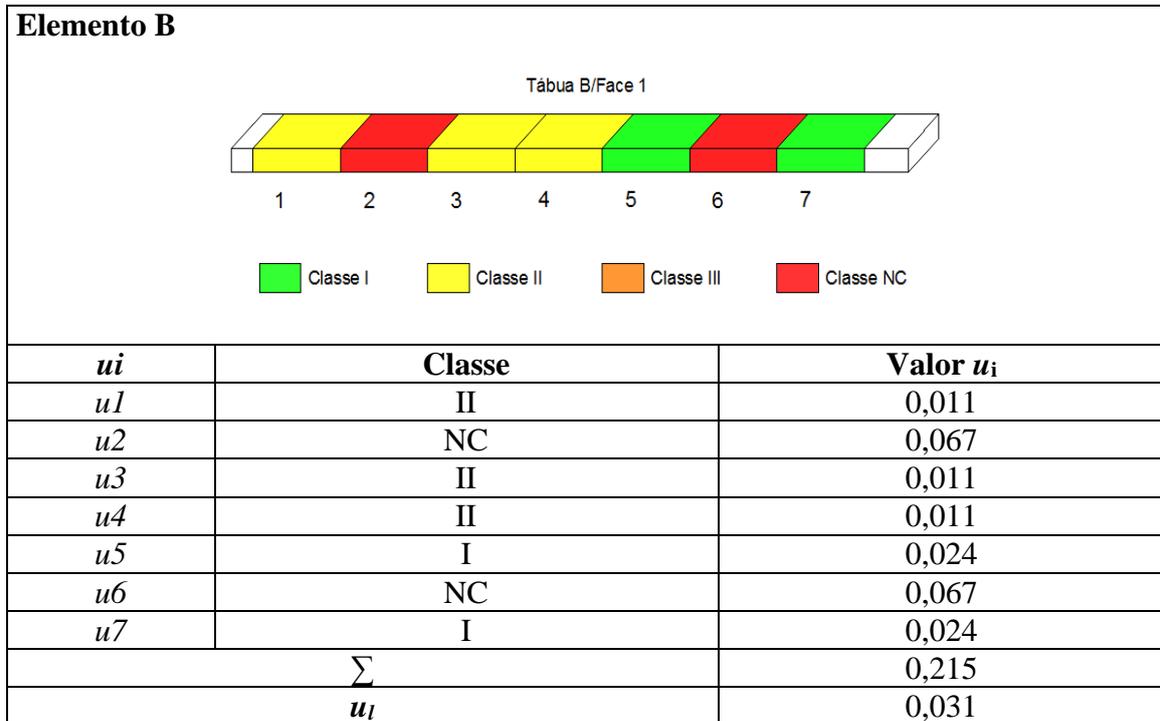
$$u_l = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} \quad (5.6)$$

De seguida apresenta-se o exemplo para dois elementos (tábuas A e B). Como indicado na tabela 5.3, foram analisados os resultados para obter o  $u_i$  para cada segmento dada uma determinada classe visual.

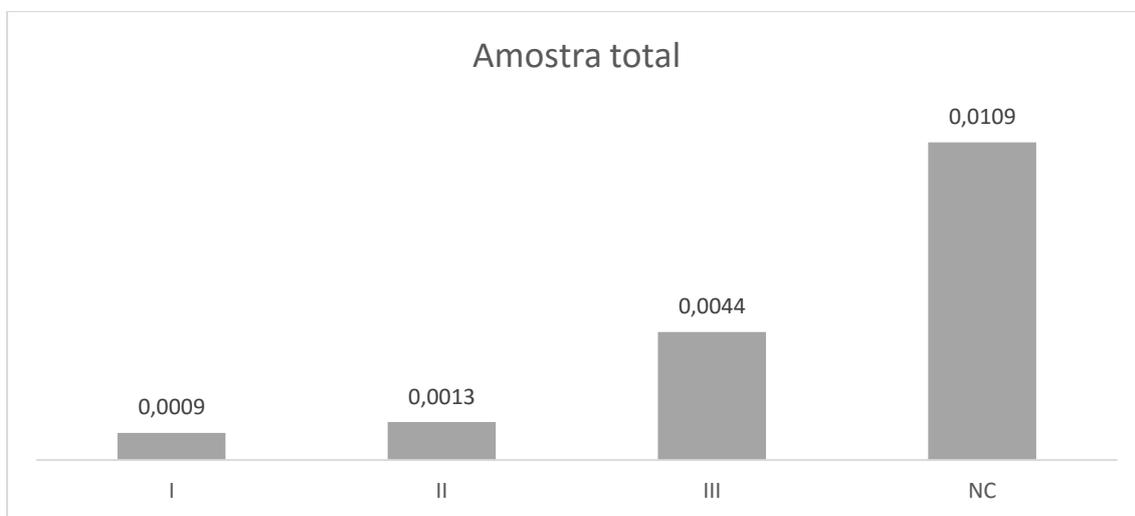
**Tabela 5.3:** Tabela com os valores de  $u_i$ , para cada segmento, e resultado final do  $u_l$ , para o elemento A



**Tabela 5.4:** Tabela com os valores de  $u_i$ , para cada segmento, e resultado final do  $u_l$ , para o elemento B



O valor final da incerteza-padrão local,  $u_l$ , obtido pela média de cada um dos resultados obtidos para cada elemento é de 0.013. O mesmo procedimento utilizado para obter  $u_l$  foi considerado para obtenção do valor de incerteza-padrão por elemento,  $u_e$ , mas desta vez considerando todos os resultados obtidos na inspeção divididos por classe de inspeção visual, mas independentes do elemento. Assim sendo, obtém-se uma amostra somente dependente da classe visual. Os valores obtidos por classe visual são apresentados na Figura 5.2. Utilizando estes valores, e aplicando a mesma metodologia de alocação de valores respeitando a inspeção visual prévia, é obtido um valor de  $u_e$  de 0.003.



**Figura 5.2:** Incerteza no elemento para a amostra total

Desta forma é obtida a incerteza correspondente aos resultados obtidos entre segmentos, para um mesmo elemento,  $u_l$ , e a incerteza correspondente aos resultados obtidos entre diferentes elementos,  $u_e$ . Com estes dois valores é determinado um valor de incerteza-padrão global,  $u_g$ , que combina a incerteza dentro do elemento e entre elementos. Para esse efeito é utilizado a seguinte equação 5.7.

$$u_g = \sqrt{\bar{u}_l^2 + \bar{u}_e^2} \quad (5.7)$$

O valor final de  $u_g$  é, assim, de 0.014.

## 5.6 Conclusões

Para obtenção da incerteza-padrão global foi determinado o valor correspondente à incerteza local (com valor de 0.013) e o valor da incerteza entre elementos (com valor de 0.003), sendo desta forma obtido um valor final para  $u_g$  de 0.014. Este valor demonstra, sendo bastante baixo, que os resultados da inspeção visual apresentam um desvio padrão constante para o número de repetições realizadas. No entanto, dever-se-á ter em consideração que este valor, apesar de baixo devido ao número de eventos na amostra, corresponde a um valor de desvio padrão experimental significativo. Assim sendo, numa análise de segurança onde esta variabilidade seja considerada terá de ter essa premissa em consideração.

## 6. CASO DE ESTUDO

### 6.1 Introdução

Este capítulo consiste num caso de estudo tendo em conta a aplicação de uma análise de fiabilidade incorporando a incerteza proveniente da inspeção visual, e comparando-a com a análise tradicional sem implementação dessa incerteza. Inicialmente, serão apresentados os princípios básicos na análise de fiabilidade de estruturas de madeira e posteriormente será apresentado um caso de estudo.

O caso de estudo será referente a uma viga simplesmente apoiada sujeita a uma carga uniformemente distribuída. O carregamento contempla cargas permanentes (peso próprio) e cargas variáveis (sobrecarga). Na análise de fiabilidade será utilizada a geração de variáveis aleatórias através de simulação por Monte Carlo para obtenção da distribuição da resistência à flexão, e a um método de primeira ordem (FORM: First Order Reliability Method) para obtenção do índice de fiabilidade.

### 6.2 Fiabilidade em estruturas de madeira

Num problema básico da fiabilidade estrutural, a resistência de um determinado elemento e os efeitos que um dado carregamento provoca nesse elemento são as variáveis principais. A resistência estrutural é designada por  $R$ , enquanto os efeitos provocados por um determinado carregamento  $Q$ , serão designados por  $S$ . Ambas as variáveis são expressas pela mesma unidade e correspondem a uma determinada função de densidade de probabilidade. A rotura de um elemento é considerada quando o valor de  $S$  é superior ao de  $R$ . Assim sendo a probabilidade de rotura  $p_f$  (*probability of failure*) pode ser assumida como a probabilidade de a resistência estrutural  $R$ , modelada por uma variável aleatória com determinada função de densidade de probabilidade  $f_R(r)$ , ter valores iguais ou inferiores aos efeitos do carregamento  $S$ , igualmente modelados por uma variável aleatória com determinada função de densidade de probabilidade  $f_S(s)$ .

O cálculo da probabilidade  $p_f$  poderá ser feita em casos simples por via analítica. Para casos mais complexos poderá ser obtida por aproximação numérica utilizando técnicas de simulação, como a técnica de simulação de *Monte Carlo*, ou por métodos de Fiabilidade de Primeira Ordem *FORM* (*First Order Reliability Methods*).

Os métodos *FORM* são usados quando se pretende incorporar mais informação sobre as variáveis básicas do que somente a média e o desvio padrão, tais como o tipo de distribuição e sua variabilidade intrínseca e mesmo pontos de estimação. Uma forma de implementar estes métodos é utilizar uma transformação que permita assemelhar uma distribuição não Normal a uma distribuição Normal equivalente. Desta forma, na resolução de algoritmo *FORM*, um conjunto de variáveis aleatórias correlacionadas  $X$  com distribuições não Normal é transformado num conjunto de variáveis correlacionadas equivalentes  $Y$  com distribuições Normal, que posteriormente pode ser convertida para um conjunto de variáveis aleatórias  $Z$  com distribuição Normal padronizada e independentes entre si. Associado à probabilidade de rotura pode ser determinado o índice de fiabilidade, determinado por:

$$p_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (6.1)$$

onde  $\Phi( )$  representa a função de distribuição Normal padronizada e  $\beta$  o índice de fiabilidade.

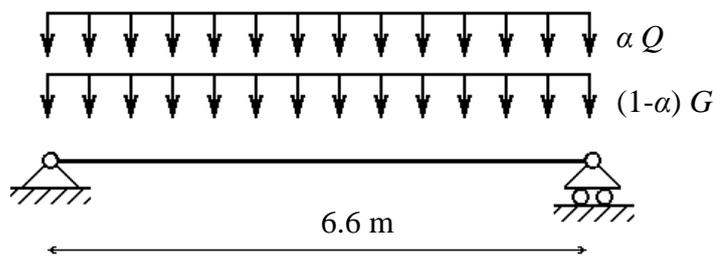
No âmbito dos modelos probabilísticos que caracterizem a madeira como material de construção salienta-se aqueles indicados no *Probabilistic Model Code (PMC)*, divulgado pelo *Joint Committee on Structural Safety (JCSS, 2006)*. Os modelos que caracterizam as propriedades mecânicas da madeira são descritos no *PMC (JCSS, 2006)* onde através do conhecimento de determinadas propriedades, consideradas de forma explícita, são obtidas as restantes outras implicitamente. As propriedades consideradas explicitamente são denominadas por propriedades de referência do material, sendo estas a tensão de rotura à flexão  $R_m$ , o módulo de elasticidade à flexão  $E_m$  e a densidade  $\rho_{den}$ . Os valores das propriedades implícitas, dadas por expressões empíricas, assim como os respetivos tipos de distribuição de probabilidades, são apresentados na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1:** Parâmetros estatísticos das propriedades mecânicas da madeira em relação às propriedades de referência (JCSS, 2006)

Propriedade X	Valor Esperado E(X)	COV(X)	Distribuição
Tensão de rotura à flexão $R_m$	$E(R_m)$	0.25	Lognormal
Módulo de elasticidade à flexão $E_m$	$E(E_m)$	0.13	Lognormal
Densidade média $\rho_{den}$	$E(\rho_{den})$	0.10	Normal
Tensão de rotura à tracção paralela às fibras $R_{t,0}$	$0.6 E(R_m)$	$1.2 COV(R_m)$	Lognormal
Tensão de rotura à tracção perpendicular às fibras $R_{t,90}$	$0.015 E(\rho_{den})$	$2.5 COV(\rho_{den})$	2-p Weibull
Módulo de elasticidade à tracção paralela às fibras $E_{t,0}$	$E(E_m)$	$COV(E_m)$	Lognormal
Módulo de elasticidade à tracção perpendicular às fibras $E_{t,90}$	$E(E_m)/30$	$COV(E_m)$	Lognormal
Tensão de rotura à compressão paralela às fibras $R_{c,0}$	$5 E(R_m)^{0.45}$	$0.8 COV(R_m)$	Lognormal
Tensão de rotura à compressão perpendicular às fibras $R_{c,90}$	$0.008 E(\rho_{den})$	$COV(\rho_{den})$	Normal
Módulo de distorção $G_v$	$E(E_m)/16$	$CoV(E_m)$	Lognormal
Tensão de rotura ao corte $R_v$	$0.2 (R_m)^{0.8}$	$CoV(R_m)$	Lognormal

### 6.3 Implementação da variabilidade da inspeção visual

De forma a explicitar os conceitos apresentados no capítulo 2, procedeu-se à análise de segurança de uma viga em madeira sujeita a flexão simples, para diferentes valores do rácio entre a dimensão de um nó e a largura da face em que este se encontra. Para esse efeito, considerou-se uma viga simplesmente apoiada com 6.60 m de vão. O carregamento, dado por valores médios, consiste numa carga permanente uniformemente distribuída,  $G$ , de 6 N/mm e de uma sobrecarga de uniformemente distribuída,  $Q$ , de 4 N/mm, ver figura 6.1. O caso de estudo é baseado no exemplo apresentado em Sousa *et al.* (2013).



**Figura 6.1:** Caso de estudo usado referente a uma viga simplesmente apoiada, adaptado de Sousa *et al.* 2013.

A combinação de ações  $S$  é feita através de um fator  $\alpha$  que modela a fração da ação variável, conforme descrito na equação seguinte:

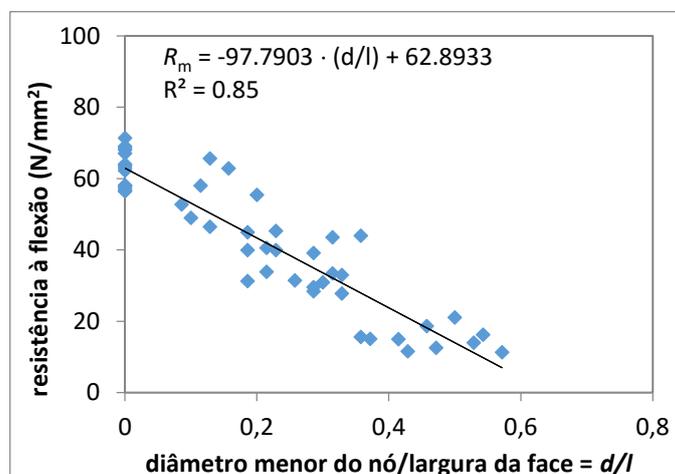
$$S = (1 - \alpha)G + \alpha Q \quad (6.21)$$

A ação permanente é simulada através de uma distribuição Normal com coeficiente de variação de 10%, enquanto a sobrecarga é simulada através de uma distribuição Gumbel, com coeficiente de variação de 40%. A secção transversal (200 x 300 mm<sup>2</sup>) e o vão são considerados como constantes determinísticas.

Para determinação do valor médio da resistência à flexão, foram utilizados os valores obtidos em Sousa *et al.*, (2013) tendo em conta uma correlação linear entre o valor de resistência à flexão e dimensão de nós em relação à largura do elemento, ver Figura 6.2.

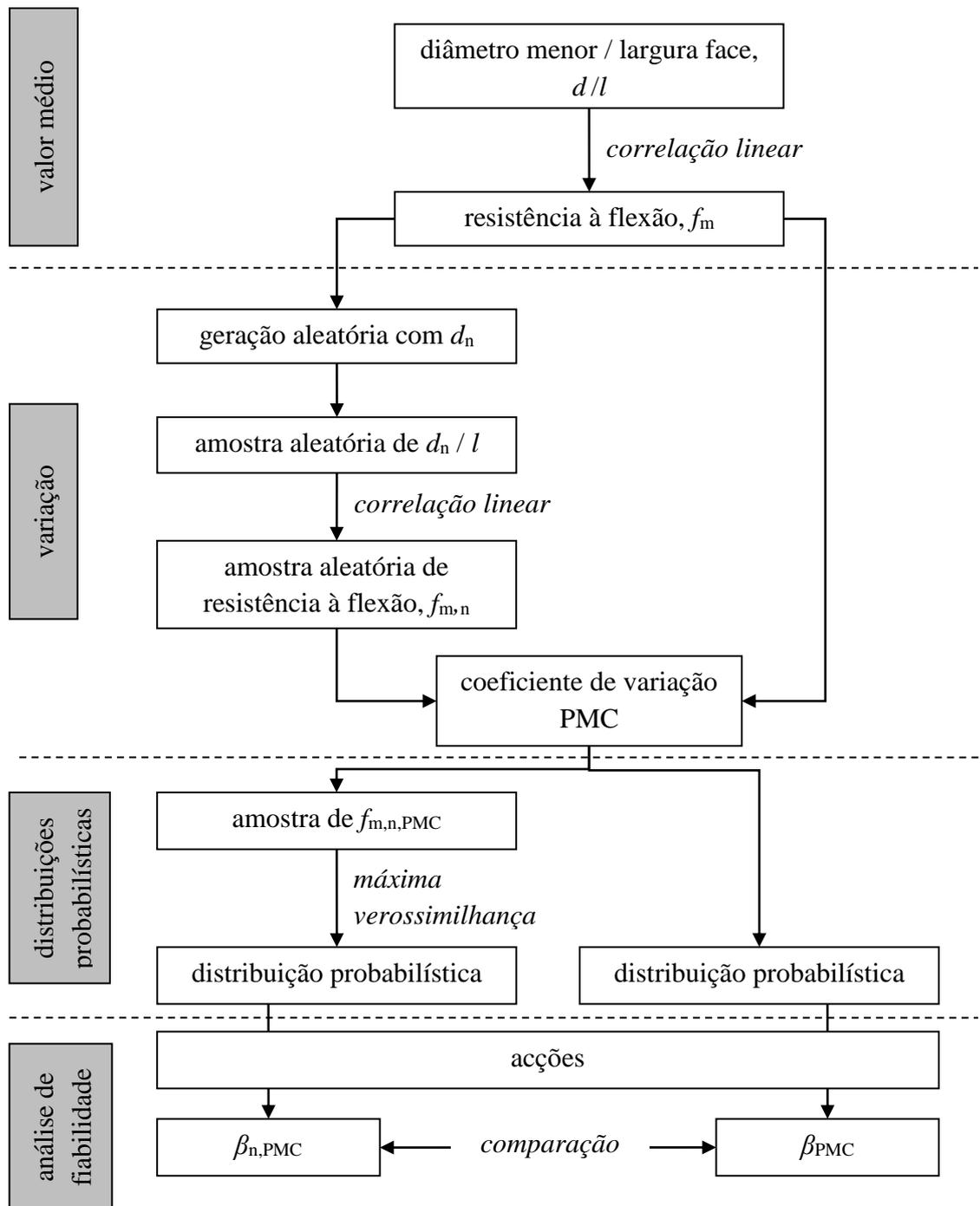
A variação da resistência à flexão foi considerada através de duas formas. Na primeira análise é considerado a geração aleatória de vários valores do rácio  $d/l$  tendo em conta o valor inicial médio e a variação calculada nos capítulos anteriores desta dissertação (valor de desvio padrão experimental e normalizado). Posteriormente, para cada valor obtido, é calculado o valor de resistência à flexão por meio de uma correlação linear (figura 6.2) e, finalmente, para cada um desses valores é gerada uma amostra tendo em conta a distribuição probabilística e o coeficiente de variação previsto no PMC (distribuição LogNormal com 25% de coeficiente de variação). A amostra obtida é depois submetida a um processo de máxima verosimilhança para determinar a sua função de distribuição e seus respetivos parâmetros. Na segunda análise é considerado diretamente os valores previstos no PMC para a variação da resistência à flexão. Desta

forma, comparando as duas análises, é possível verificar a influência da incerteza devido à inspeção visual, já que na primeira análise é incorporada essa variabilidade.



**Figura 6.2:** Correlação linear entre a resistência à flexão e a dimensão dos nós numa secção, adaptado de Sousa (2013).

O procedimento considerado para estas análises é apresentado na Figura 6.3, onde se evidencia a obtenção do valor médio por correlação linear, da variabilidade dos valores através de amostragem aleatória e da obtenção das distribuições através da aplicação do método de máxima verossimilhança. Estes procedimentos foram realizados através de um algoritmo concebido em Matlab, enquanto a análise de fiabilidade foi realizada através do programa PRADSS (Sørensen, 1987) que utiliza o método FORM para obtenção da probabilidade de rotura e respetivo índice de fiabilidade.

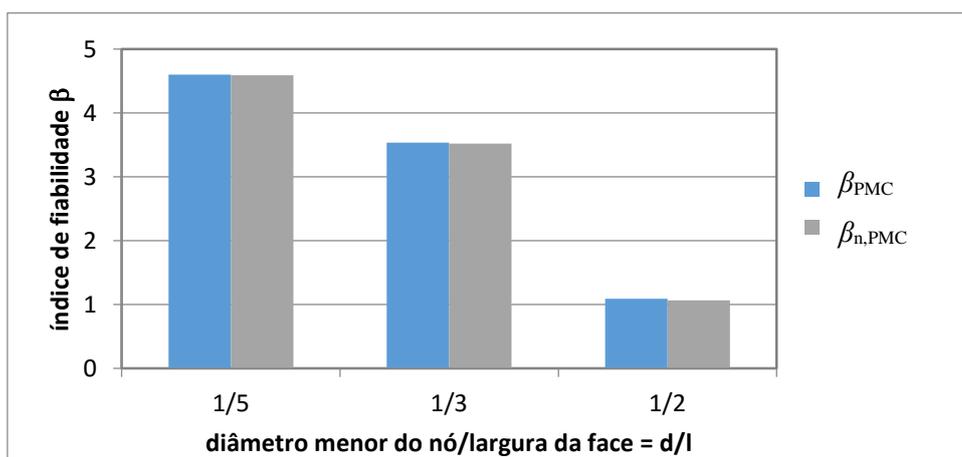


**Figura 6.3:** Algoritmo utilizado para comparação dos índices de fiabilidade com  $(\beta_{n,PMC})$  e sem  $(\beta_{PMC})$  incorporação de incerteza devido à inspeção visual.

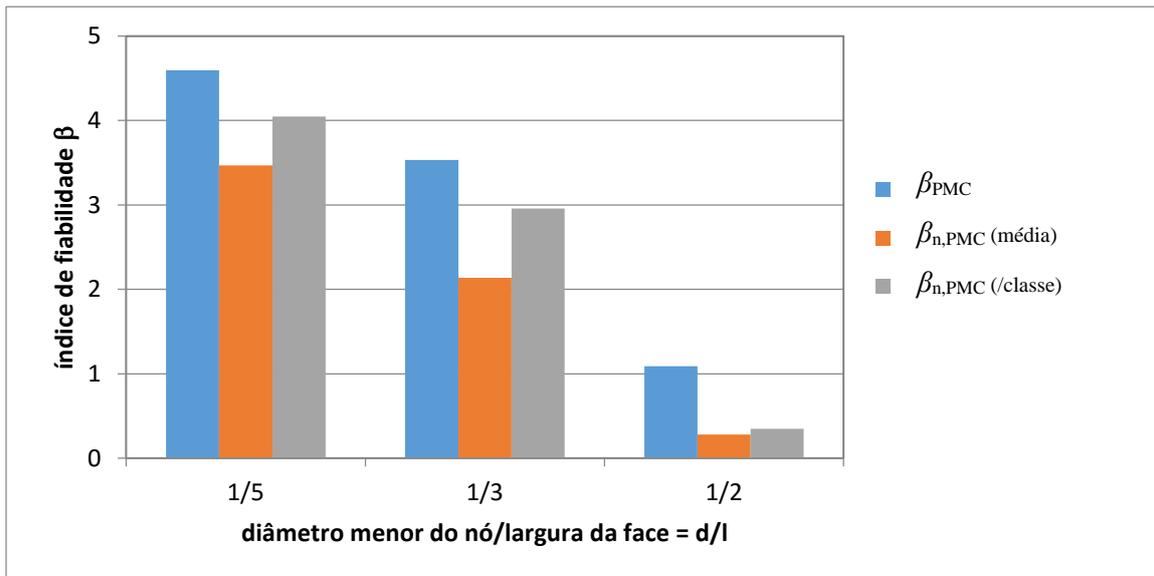
#### 6.4 Resultados e discussão

O caso de estudo foi analisado tendo em conta três valores para o rácio entre o diâmetro do nó e a largura da face onde se encontra. Esses valores correspondem aos valores limite entre as classes visuais consideradas na norma UNI 11119:2004, sendo estes 1/5, 1/3 e 1/2 que correspondem à passagem das classes I para II, II para III e de III para NC.

Inicialmente a análise da incerteza foi considerada através da incorporação do desvio padrão normalizado, obtido no capítulo 5. Os resultados e a comparação com os valores obtidos sem consideração da incerteza são apresentados na Figura 6.4. Nesta análise verifica-se que os valores do índice de fiabilidade com e sem incorporação da incerteza da inspeção visual são muito semelhantes. Esta situação resulta da definição intrínseca do desvio padrão normalizado, onde o desvio padrão experimental é dividido pelo número de eventos na amostra. Assim, para um desvio padrão experimental estável, o valor da incerteza a incorporar irá fortemente diminuir para amostras de maior tamanho. Neste contexto, o desvio padrão normalizado deverá assim ser compreendido como uma medida da incerteza referente ao método ou ensaio utilizado e não somente à própria grandeza em si. De forma a obter uma análise sobre a incerteza e variabilidade tendo em conta os valores experimentais aferidos nesta dissertação, foi considerada a mesma análise realizada anteriormente, mas com consideração do desvio padrão experimental, que por sua vez foi considerado de duas formas: média do desvio padrão experimental em todas as classes (amostra total), e individualmente por cada classe visual (referente ao respetivo rácio  $d/l$ ). Os resultados são apresentados na Figura 6.5 onde se verifica uma diferença significativa obtida pela introdução da incerteza na inspeção. Esta diferença é superior quando se considera o valor do desvio padrão experimental médio já que a variabilidade na amostra entre classes é superior comparando com variabilidade dentro de cada classe.



**Figura 6.4:** Comparação dos índices de fiabilidade com ( $\beta_{n,PMC}$ ) e sem ( $\beta_{PMC}$ ) incorporação de incerteza devido à inspeção visual através do desvio padrão normalizado.



**Figura 6.5:** Comparação dos índices de fiabilidade com ( $\beta_{n,PMC}$ ) e sem ( $\beta_{PMC}$ ) incorporação de incerteza devido à inspeção visual através do desvio padrão experimental.

## 7. CONCLUSÕES

### 7.1 Conclusões do trabalho efetuado

Nesta dissertação foi verificada a existência de várias normas com diferentes técnicas de medição de defeitos e sua classificação. Estas diferenças são encontradas também para diferentes espécies de madeira. Desta forma, conclui-se que o mesmo defeito poderá ser avaliado de modo diferente se aplicada uma norma de classificação diferente, aumentando assim a incerteza sobre a sua análise. A inexistência de normas específicas para elementos em obra (com exceção das normas italianas) é igualmente um ponto que acresce a subjetividade da inspeção de elementos em obra. Por outro lado, por vezes são inexistentes as normas para espécies de relevo, exemplo disso é a falta de normas específicas para folhosas em Portugal.

No caso Europeu, apesar de existirem normas que ditam a metodologia global de inspeção e a forma de atribuir determinada classe a uma espécie, não existe uma norma unificadora para a inspeção visual em que os diferentes parâmetros sejam medidos da mesma forma. Esta situação depreende-se com os diferentes métodos construtivos utilizados e as diferentes espécies de madeira encontradas em cada país.

Nesta dissertação, foi realizada uma inspeção visual a 7 elementos de madeira folhosa (Castanho), utilizando a norma UNI 11119:2004 tendo em conta os parâmetros nela definidos, nomeadamente nós, alinhamento do fio e fendas. Os elementos em estudo foram 7 tábuas com comprimento de 310 cm e secção transversal de  $4 \times 7 \text{ cm}^2$  que foram divididas em 7 segmentos de 40 cm para uma análise ao longo do comprimento do elemento. Com base na informação retirada, foram obtidas as percentagens de segmentos com determinada classe visual permitindo assim comparar entre elementos e entre segmentos do mesmo elemento. Atendendo às classificações por segmento, o parâmetro mais condicionante foi a dimensão dos nós em relação à largura da face em que se encontravam.

Numa fase seguinte desta dissertação, foi realizada uma análise a dados já existentes de 15 inspetores, que inspecionaram os elementos de madeira analisados nesta dissertação, tendo em conta a distribuição de inspeções. Esses inspetores seguiram a norma UNI11119:2004, sendo os parâmetros analisados os diâmetros mínimos e máximos dos nós e o alinhamento do fio.

Para determinação da incerteza da medição, o diâmetro mínimo dos nós foi escolhido como parâmetro de análise, sendo este comparado com a inspeção visual anteriormente realizada, tendo sido preconizada uma análise à influência desse defeito tendo em conta a dimensão do elemento, assim como uma análise referente aos seguintes pontos:

- Análise estatística da base de dados (média e variação em cada inspetor e entre inspetores);
- Probabilidade de deteção de defeitos;
- Comparação com inspeção visual prévia;
- Análise da influência de um defeito em relação à dimensão do elemento.

Na comparação com a inspeção prévia verificou-se que o número de segmentos com classes superiores diminuiu conforme a classificação, sendo que nas classes extremas (classe I e NC) existe uma maior correspondência entre os resultados de todas as inspeções.

Na análise da dimensão do elemento, o aumento da largura implicou o aumento de elementos com classes mais elevadas, sendo previsível esse resultado já que aumentando o dobro a largura do elemento a influência do defeito nesse mesmo elemento diminuiu. Em termos globais, verificou-se que em conjunto com o aumento da média do diâmetro do defeito existe também um aumento na variabilidade dos resultados para cada amostra.

A incerteza em medições experimentais pode ser quantificada de diferentes formas e através de diferentes metodologias e, como tal, é necessário estabelecer uma forma coerente e inequívoca para quantificar essa incerteza. Tendo em conta as diferentes medições, inspeções e análises realizadas foi aplicada a norma JCGM 100:2008 para determinação da incerteza inerente ao processo de inspeção visual referente à dimensão de nós.

Para obtenção da incerteza-padrão global foi determinado o valor correspondente à incerteza local (com valor de 0.013) e o valor da incerteza entre elementos (com valor de 0.003), sendo desta forma obtido um valor final para  $u_g$  de 0.014. Este valor demonstra, sendo bastante baixo, que os resultados da inspeção visual apresentam um desvio padrão constante para o número de repetições realizadas. No entanto, dever-se-á

ter em consideração que este valor, apesar de baixo devido ao número de eventos na amostra, corresponde a um valor de desvio padrão experimental significativo.

Por fim, foi implementada uma metodologia para incorporação da incerteza afeta à medição de nós num elemento de madeira para uma análise de segurança. O caso de estudo foi analisado tendo em conta três valores para o rácio entre o diâmetro do nó e a largura da face onde se encontrava. Esses valores corresponderam aos valores limite entre as classes visuais consideradas na norma UNI 11119:2004, sendo estes 1/5, 1/3 e 1/2 que correspondem à passagem das classes I para II, II para III e de III para NC.

Inicialmente a análise da incerteza foi considerada através da incorporação do desvio padrão normalizado, obtido anteriormente. Os resultados e a comparação com os valores obtidos sem consideração da incerteza foram apresentados. Nesta análise verificou-se que os valores do índice de fiabilidade com e sem incorporação da incerteza da inspeção visual são muito semelhantes. Esta situação resulta da definição intrínseca do desvio padrão normalizado, onde o desvio padrão experimental é dividido pelo número de eventos na amostra. Assim, para um desvio padrão experimental estável, o valor da incerteza a incorporar irá fortemente diminuir para amostras de maior tamanho. Neste contexto, o desvio padrão normalizado deverá assim ser compreendido como uma medida da incerteza referente ao método ou ensaio utilizado e não somente à própria grandeza em si. De forma a obter uma análise sobre a incerteza e variabilidade tendo em conta os valores experimentais aferidos nesta dissertação, foi também considerada a mesma análise realizada anteriormente, mas com consideração do desvio padrão experimental, que por sua vez foi considerado de duas formas: média do desvio padrão experimental em todas as classes (amostra total), e individualmente por cada classe visual (referente ao respetivo rácio  $d/l$ ). Os resultados encontrados revelaram que é verificada uma diferença significativa obtida pela introdução da incerteza na inspeção. Esta diferença foi superior quando se considerou o valor do desvio padrão experimental médio já que a variabilidade na amostra entre classes era superior comparando com variabilidade dentro de cada classe.

## **7.2 Desenvolvimentos futuros**

Este trabalho apesar de respondido aos objetivos que se pretendia abriu portas para desenvolvimentos futuros tais como:

- análise da incerteza em relação a outros parâmetros de inspeção visual;
- adaptação do mesmo processo a normas de inspeção diferentes;
- análise paramétrica da influência da incerteza num contexto de uma estrutura com vários elementos;
- possibilidade de atualização de dados de inspeções anteriores com resultados de inspeções recentes.

## REFERÊNCIAS

- Almazán F.J.A, Prieto E.H., Martitegui F.A., Richter C. (2008) Comparison of the Spanish visual strength grading standard for structural sawn timber (UNE 56544) with the German one (DIN 4074) for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from Germany. *Holz Roh Werkst* 66(4) 253-258.
- Branco J.M., Sousa H.S. (2014) Métodos de inspeção e classificação visual de elementos de madeira, Manual de curso, para o Curso: Métodos de inspeção e classificação visual de elementos de madeira. DL: 384611/14, ISBN: 978-972-8692-90-2. 65 pp.
- Branco, J.M., Lourenço, P.B. (2014) Coberturas tradicionais de madeira: caracterização, inspeção e classificação. *Anuário do Património 2014*: 192-199.
- Cruz H., Machado S., Rodrigues M., (1997) Madeira para Construção – M2: Pinho Bravo para Estruturas. LNEC. 1997
- Cruz H. (2001) Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. Curso livre internacional de património.
- DIN 4074:2001, *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit: Teil 1: Nadelschnittholz*. DIN, Germany, 2001.
- Emerson, R., *et al.*, 1998. Nondestructive evaluation techniques for timber bridges. In Natterer, J. e Sandoz, J.-L., editors, WCTE'98 – 5th World Conference on Timber Engineering. Montreux, Switzerland, volume 1.
- EN 14081-1:2005 (2005) Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1: General requirements.
- EN 338:2009 (2009) Structural timber - strength classes. European Standard, CEN, Bruxelas.
- EN 408 (2010) Timber structures. Sawn timber and glued laminated timber for structural use. Determination of some physical and mechanical properties. European Standard, CEN, Bruxelas.
- Franco S. I. S. (2008) Proposta de atribuição de propriedades mecânicas a elementos estruturais de madeira por inspeção visual in situ. Tese de doutoramento, Universidade do Porto.

- Prieto E.H. (2001) Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L. Tese de doutoramento, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.
- JCGM (2008a) JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor correction. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology.
- JCGM (2008b) JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Propagation of distributions using Monte Carlo method. Joint Committee for Guides in Metrology.
- JCGM (2009) JCGM 104:2009 Evaluation of measurement data - An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents. Joint Committee for Guides in Metrology.
- JCSS (2006) JCSS Probabilistic Model Code, Part 3: Resistance Models – 3.5 Properties of Timber. Probabilistic Model Code, Joint Committee on Structural Safety
- Jesus, R.F.A. (2015). Inspeção e reabilitação de pontes e viadutos em betão armado na RAM. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Madeira.
- NP EN 1912 (2004) Madeira para Estruturas. Classes de Resistência. Atribuição de Classes de Qualidade e Espécies. Instituto Português da Qualidade.
- Sørensen J.D. (1987) PRADSS: Program for Reliability Analysis and Design of Structural Systems. Structural Reliability Theory, Paper No. 36, The University of Aalborg, Denmark.
- Sousa H.S. (2013) Methodology for safety evaluation of existing timber elements - Metodologia para avaliação de segurança de elementos existentes em madeira, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal.
- Sousa H.S., Sørensen J.D., Kirkegaard P.H., Branco J.M., Lourenço P.B. (2013a) On the use of NDT data for reliability-based assessment of existing timber structures. *Engineering Structures* 56. pp 298-311.

- Sousa, H. S., Branco, J., Lourenço P.B. (2013b) Effectiveness and subjectivity of visual inspection as a method to assess bending stiffness and strength of chestnut elements. *Advanced Materials Research*. Vol. 778. Trans Tech Publications.
- UNE 56544 (2003) Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. *Madera de Coníferas*. (Visual grading of sawn timber for structural use. Coniferous timber).
- UNI 11035-1:2003 (2003) Structural timber. Visual strength grading for Italian structural timbers: terminology and measurement of features. UNI Milano.
- UNI 11035-2:2003 (2003) Structural timber. Visual strength grading rules and characteristic values for Italian structural timber population. UNI Milano.
- UNI 11119:2004 (2004) Cultural Heritage - Wooden artifacts - load bearing structures - On site inspections for the diagnosis of timber members. UNI Milano.
- UNI 11138:2004 (2004) Cultural Heritage - Wooden artifacts - load bearing structures - Criteria for the preliminary evaluation, the design and the execution of works. UNI Milano.

# ANEXOS

## ANEXO 1 - Fichas da inspeção visual

Tábua A								
Fases								
Segmentos (40cmx 7cm)	1				3			
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe
1	0	6,66	0	I	0	6,66	0	I
2	0	6,66	0	I	2/70=0,029	6,66	0	I
3	0	6,66	0	I	0	6,66	0	I
4	0	6,66	0	I	10/70=0,143	6,66	0	I
5	22/70=0,314	6,66	0	II	20/70=0,286	6,66	0	II
6	7/70=0,1	6,66	0	I	0	6,66	0	I
7	0	6,66	0	I	10/70=0,143	6,66	0	I

Tábua B								
Fases								
Segmentos (40cmx 7cm)	1				3			
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe
1	0	5° = 11,11%	Pregos	II		3° = 6,66%		I
2	(13+17+35)/70=0,929	5° = 11,11%	Pregos e fendas ligeiras	N/C (não classificável)		3° = 6,66%		I
3	0	5° = 11,11%	Pregos	II		3° = 6,66%	Fendas ligeiras	I
4	(17+20)/70=0,529	5° = 11,11%		II		3° = 6,66%		I
5	13/70=0,186	5° = 11,11%		I		3° = 6,66%		I
6	38/70=0,543	5° = 11,11%	Fendas ligeiras	N/C (não classificável)	20/70=0,29	3° = 6,66%		II
7	0	5° = 11,11%		II		3° = 6,66%		I

Tábua C								
Fases								
Segmentos (40cmx 7cm)	1				3			
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe
1	0	11,1	Pregos	II	0	11,1	0	II
2	(20+20)/70=0,571	11,1	Pregos	II	(13+9)/70=0,314	11,1	Pregos e fendas ligeiras	I
3	(7+7)/70=0,2	11,1	Fenda Grande	N/C	9/70=0,129	11,1	Pregos e fendas ligeiras	I
4	0	11,1	Pregos	II	0	11,1	Fenda Grande	N/C
5	0	11,1	Pregos e fendas ligeiras	II	0	11,1	0	II
6	0	11,1	Pregos e fendas ligeiras	II	0	11,1	Pregos	II
7	0	11,1	Pregos e fendas ligeiras	II	0	11,1	Pregos	II

Tábua D								
Fases								
Segme ntos (40cmx 7cm)	1				3			Cla sse
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	
1	0	6,66	0	I	0	11,1	Fendas ligeiras	II
2	$(35+4+25)/70=0,914$	6,66	0	N/C	0	11,1	Fendas ligeiras	II
3	0	6,66	0	I	0	11,1	0	II
4	$9/70=0,129$	6,66	0	I	0	11,1	0	II
5	0	6,66	Fendas ligeiras	I	0	11,1	0	II
6	0	6,66	Fendas ligeiras	I	0	11,1	Fendas ligeiras	II
7	0	6,66	0	I	0	11,1	0	II

Tábua E								
Fases								
Segme ntos (40cmx 7cm)	1				3			Cla sse
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	
1	0	11,1	Prego	II	0	11,1	Prego	II
2	$(6+23+5)/70=0,486$	11,1	Prego fenda ligeira	III	0	11,1	Prego	II
3	$(5+5)/70=0,143$	11,1	Prego fenda ligeira	I	$6/70=0,086$	11,1	Prego	I
4	$(10+9+5+4)/70=0,4$	11,1	Prego fenda ligeira	I	$12/70=0,171$	11,1	0	I
5	0	11,1	Prego fenda ligeira	II	0	11,1	0	II
6	0	11,1	0	II	0	11,1	0	II
7	0	11,1	Prego fenda ligeira	II	0	11,1	0	II

Tábua F								
Fases								
Segme ntos (40cmx 7cm)	1				3			Cla sse
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	
1	$(3+4)/70=0,7$	6,66	Prego	I	$(7+7+7+10)/70=0,443$	11,1	0	II
2	$(5+4)/70=0,129$	6,66	Prego fenda ligeira	I	$(3+2+2+3+3+5)/70=0,26$	11,1	0	I
3	$15/70=0,214$	6,66	Prego fenda ligeira	I	$7/70=0,1$ $(10+6)/70=0,2$	11,1	Prego	I
4	$3/70=0,043$	6,66	Fenda ligeira	I	$5/70=0,071$	11,1	0	I
5	$20/70=0,286$	6,66	Prego fenda ligeira	I	$(10+10+5)/70=0,357$	11,1	Fenda ligeira	I
6	$(13+10)/70=0,329$	6,66	0	I	$(5+5)/70=0,143$ $3/70=0,043$	11,1	Fenda ligeira	I
7	$9/70=0,129$	6,66	Fenda ligeira	I	$(17+20)/70=0,529$	11,1	Fenda ligeira e prego	II

Tábua G								
Fases								
Segme ntos (40cmx 7cm)	1				3			
	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe	Nós [mm]	Fio [%]	Comentários	Classe
1	40/70=0,571	17,7	Pregos	N/C	45/70=0,643	17,7	Fenda ligeira	N/C
2	0	17,7	Pregos	III	35/70=0,5	17,7	0	III
3	0	17,7	Pregos e fendas ligeiras	III	(9+9)/70=0,257	17,7	0	III
4	14/70=0,2	17,7	Pregos	III	3/70=0,043	17,7	Pregos	III
5	10/70=0,143	17,7	Pregos	III	(9+9+5)/70=0,329 3/70=0,043	17,7	0	III
6	3/70=0,043	17,7	Pregos	III	0	17,7	0	III
7	(20+7)/70=0,386	17,7	Pregos	III	(5+6)/70=0,157	17,7	Pregos	III

## ANEXO 2 - Resultados da inspeção individual (capítulo 3)

Elementos	Segmento														
	1		2		3		4		5		6		7		
A	1	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó	I	X	I	X
	3	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó	I	X	I	X
B	1	II	Fio	N/C	Nó	II	Fio	II	Nó	I	X	N/C	Nó	I	X
	3	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó	I	X
C	1	II	Fio	II	Nó	N/C	Fenda	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio
	3	II	Fio	I	X	I	X	N/C	Fenda	II	Fio	II	Fio	II	Fio
D	1	I	X	N/C	Nó	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X
	3	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio	II	Fio
E	1	II	Fio	III	Nó	I	X	I	X	II	Fio	II	Fio	II	Fio
	3	II	Fio	II	Fio	I	X	I	X	II	Fio	II	Fio	II	Fio
F	1	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X
	3	II	Nó	I	X	I	X	I	X	I	X	I	X	II	Nó
G	1	N/C	Nó	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio
	3	N/C	Nó	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio	III	Fio

## ANEXO 3 - Base de dados - distribuição de inspetores por elemento

ID. Inspetor	Elemento						
	A	B	C	D	E	F	G
1	x			x	x	x	x
2	x	x	x			x	x
3	x	x	x	x	x		
4	x	x			x	x	x
5				x	x	x	x
6		x	x	x	x	x	
7	x	x	x	x			x
8	x	x	x	x			x
9	x	x	x	x	x		
10	x	x			x	x	x
11			x	x	x		x
12		x	x	x	x	x	
13	x			x	x	x	x
14		x	x	x			
15					x	x	x
Total	9	10	9	11	11	9	10

**ANEXO 4 - Defeitos e classificação (amostra de 5 inspetores)**

Inspetor 1		Segmento	Nós isolados (mm)		Fio %	Nós agrupados (mm)		Classe
Elemento	Face		Dmin	Dmax		Dmin	Dmax	
A	1	1	--	--	3	--	--	I
		2	9	25	1	--	--	I
		3	13	15	3	--	--	I
		4	--	--	5	--	--	I
		5	24	37	7	--	--	III
		6	8	13	4	--	--	I
		7	--	--	3	--	--	I
	3	1	--	--	--	--	--	I
		2	--	--	--	--	--	I
		3	--	--	1	--	--	I
		4	9	18	2	--	--	I
		5	22	29	--	--	--	II
		6	--	--	2	--	--	I
		7	11	12	1	--	--	I
D	1	1	12	24	--	12	24	I
		2	--	--	--	34	70	II
		3	--	--	--	--	--	I
		4	11	15	--	--	--	I
		5	--	--	--	--	--	I
		6	7	30	--	--	--	I
		7	--	--	--	--	--	I
	3	1	--	--	4	--	--	I
		2	--	--	--	--	--	I
		3	--	--	--	--	--	I
		4	--	--	--	--	--	I
		5	--	--	--	--	--	I
		6	--	--	--	--	--	I
		7	--	--	5	--	--	I
E	1	1	4	40	8	--	--	II
		2	5	7	6	19	40	I
		3	6	12	5	--	--	I
		4	--	--	7	16	80	NC
		5	--	--	--	--	--	I

E	1	6	--	--	11	--	--	II
		7	13	110	7	--	--	I
	3	1	--	--	--	--	--	I
		2	--	--	6	--	--	I
		3	15	125	4	--	--	II
		4	32	75	10	--	--	II
		5	--	--	--	--	--	I
6	--	--	8	--	--	II		
7	--	--	--	--	--	I		
F	1	1	--	--	4	17	31	I
		2	7	9	2	25	5	II
		3	7	13	2	13	19	I
		4	5	4	6	--	--	I
		5	23	40	1	--	--	II
		6	--	--	1	18	19	II
		7	15	18	3	--	--	II
	3	1	--	--	2	12	13	II
		2	--	--	2	7	20	I
		3	12	29	2	7	14	I
		4	9	14	5	--	--	I
		5	--	--	--	10	13	I
		6	9	10	2	--	--	I
		7	20	35	3	--	--	II
G	1	1	44	116	2	--	--	NC
		2	--	--	2	--	--	I
		3	--	--	5	--	--	I
		4	14	59	12	--	--	III
		5	7	50	10	--	--	II
		6	--	--	1	22	67	II
		7	7	16	1	--	--	I
	3	1	41	52	--	--	--	NC
		2	68	81	6	--	--	NC
		3	--	--	1	10	19	I
		4	--	--	1	--	--	I
		5	1	47	11	--	--	II
		6	6	25	1	--	--	I
		7	--	--	--	--	--	I

Inspetor 2		Segmento	Nós isolados (mm)		Fio %	Nós agrupados (mm)		Classe
Elemento	Face		Dmin	Dmax		Dmin	Dmax	
A	1	1	--	--	7	--	--	I
		2	--	--	7	--	--	I
		3	12	14	7	--	--	I
		4	--	--	7	--	--	I
		5	23	37	7	--	--	II
		6	--	--	7	--	--	I
		7	--	--	7	--	--	I
	3	1	--	--	7	--	--	I
		2	--	--	7	--	--	I
		3	15	22	7	--	--	II
		4	22	29	7	--	--	II
		5	--	--	7	--	--	I
		6	--	--	7	--	--	I
		7	10	12	7	--	--	II
B	1	1	--	--	7	--	--	I
		2	13	18	7	--	--	III
		3	--	--	7	--	--	I
		4	14	18	7	--	--	I
		5	11	13	7	--	--	I
		6	36	55	12	--	--	III
		7	--	--	7	--	--	III
	3	1	--	--	7	--	--	I
		2	--	--	7	--	--	I
		3	--	--	7	--	--	I
		4	--	--	7	--	--	I
		5	--	--	7	--	--	I
		6	19	35	7	--	--	III
		7	--	--	7	--	--	I
C	1	1	--	--	7	--	--	I
		2	--	--	7	--	--	III
		3	10	13	7	--	--	I
		4	--	--	7	--	--	II
		5	--	--	7	--	--	I
		6	--	--	20	--	--	I
		7	--	--	7	--	--	I
	3	1	--	--	7	--	--	I

C	3	2	--	--	7	22	42	I
		3	--	--	7	--	--	I
		4	--	--	7	--	--	I
		5	--	--	7	--	--	I
F	1	6	--	--	7	--	--	I
		7	--	--	7	--	--	I
		1	--	--	7	44	69	II
		2	--	--	20	--	--	I
		3	--	--	7	--	--	III
		4	--	--	12	--	--	III
		5	25	41	7	--	--	III
	3	6	--	--	7	42	52	II
		7	--	--	7	--	--	I
		1	--	--	7	50	68	III
		2	--	--	7	--	--	I
		3	15	39	7	--	--	II
		4	--	--	7	--	--	I
		5	--	--	7	33	48	III
G	1	6	--	--	7	--	--	III
		7	12	34	7	--	--	III
		1	43	115	7	--	--	III
		2	--	--	7	--	--	I
		3	--	--	7	--	--	I
		4	14	59	12	--	--	II
		5	--	--	7	--	--	I
	3	6	--	--	7	--	--	I
		7	--	--	7	26	86	I
		1	--	--	7	--	--	III
		2	--	--	7	--	--	III
		3	--	--	7	--	--	I
		4	--	--	7	--	--	I
		5	--	--	7	--	--	I
6	--	--	7	--	--	I		
7	--	--	7	--	--	III		

Inspetor 3		Segmento	Nós isolados (mm)		Fio %	Nós agrupados (mm)		Classe
Elemento	Face		Dmin	Dmax		Dmin	Dmax	
A	1	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	--	--	17	--	--	I
		5	22	33	17	--	--	I
		6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
	3	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	--	--	17	--	--	I
		5	21	37	17	--	--	I
		6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
B	1	1	--	--	17	--	--	I
		2	30	60	17	--	--	II
		3	--	--	17	--	--	I
		4	40	60	17	--	--	II
		5	--	--	17	--	--	I
		6	51	110	17	--	--	III
		7	--	--	17	--	--	I
	3	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	--	--	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
		6	48	110	17	--	--	III
		7	--	--	17	--	--	I
C	1	1	--	--	17	--	--	I
		2	8	15	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	NC
		4	--	--	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	NC
		6	--	--	17	--	--	NC
		7	--	--	17	--	--	NC
	3	1	--	--	17	--	--	I

C	3	2	11	25	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	NC
		4	--	--	17	--	--	NC
		5	--	--	17	--	--	I
D	1	6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
		1	--	--	17	--	--	I
		2	13	45	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	20	25	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
	3	6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
		1	--	--	17	--	--	II
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	--	--	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
E	1	6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
		1	--	--	17	--	--	I
		2	27	55	17	--	--	II
		3	20	50	17	--	--	I
		4	10	10	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
	3	6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
		1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	30	70	17	--	--	II
		5	--	--	17	--	--	I
3	6	--	--	17	--	--	I	
	7	--	--	17	--	--	I	

Inspetor 4		Segmento	Nós isolados (mm)		Fio %	Nós agrupados (mm)		Classe
Elemento	Face		Dmin	Dmax		Dmin	Dmax	
A	1	1	--	--	17	--	--	III
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	--	--	17	--	--	I
		5	23	37	17	--	--	II
		6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I
	3	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	--	--	17	--	--	I
		5	22	29	17	--	--	III
		6	--	--	17	--	--	III
		7	12	27	17	--	--	I
B	1	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	159	186	NC
		3	--	--	17	--	--	I
		4	7	60	17	--	--	I
		5	18	43	17	--	--	II
		6	45	96	17	--	--	NC
		7	--	--	17	--	--	I
	3	1	--	--	17	--	--	I
		2	--	--	17	--	--	III
		3	--	--	17	--	--	III
		4	--	--	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
		6	22	55	17	--	--	III
		7	--	--	17	--	--	I
E	1	1	40	37	17	--	--	III
		2	25	66	17	--	--	III
		3	16	18	17	--	--	II
		4	--	--	17	58	176	NC
		5	--	--	17	--	--	I
		6	--	--	17	--	--	I
		7	18	80	17	--	--	II
	3	1	--	--	17	--	--	I

E	3	2	--	--	17	--	--	I
		3	17	130	17	--	--	II
		4	30	72	17	--	--	III
		5	--	--	17	--	--	I
		6	--	--	17	--	--	I
		7	23	93	17	--	--	II
		F	1	1	--	--	17	28
2	22			46	17	--	--	III
3	--			--	17	--	--	III
4	--			--	17	--	--	III
5	22			46	17	--	--	II
6	--			--	17	42	54	III
7	--			--	17	--	--	I
3	1		--	--	17	36	55	III
	2		--	--	17	--	--	I
	3		12	29	17	--	--	I
	4		12	19	17	--	--	I
	5		--	--	17	21	25	II
	6		--	--	17	34	55	II
	7		--	--	17	--	--	I
G	1	1	40	105	17	--	--	NC
		2	--	--	17	--	--	I
		3	--	--	17	--	--	I
		4	15	65	17	--	--	II
		5	--	--	17	--	--	I
		6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	23	80	I
	3	1	30	40	17	--	--	III
		2	80	85	17	--	--	NC
		3	--	--	17	29	45	II
		4	--	--	17	--	--	I
		5	--	--	17	--	--	I
		6	--	--	17	--	--	I
		7	--	--	17	--	--	I

Inspetor 5		Segmento	Nós isolados (mm)		Fio %	Nós agrupados (mm)		Classe
Elemento	Face		Dmin	Dmax		Dmin	Dmax	
D	1	1	--	--	11	--	--	II
		2	5	11	--	45	90	II
		3	--	--	--	--	--	I
		4	12	13	--	--	--	I
		5	--	--	--	--	--	I
		6	--	--	--	--	--	I
		7	--	--	--	--	--	I
	3	1	--	--	--	--	--	I
		2	--	--	21	--	--	NC
		3	--	--	--	--	--	I
		4	--	--	--	--	--	I
		5	--	--	--	--	--	I
		6	--	--	--	--	--	I
		7	--	--	--	--	--	I
E	1	1	7	50	12	--	--	II
		2	29	80	--	--	--	III
		3	12	27	--	--	--	I
		4	15	70	--	30	33	II
		5	--	--	17	--	--	III
		6	--	--	9	--	--	I
		7	15	107	--	--	--	II
	3	1	--	--	--	--	--	I
		2	--	--	11	--	--	II
		3	--	--	6	20	120	II
		4	23	42	16	--	--	III
		5	--	--	--	--	--	I
		6	--	--	18	--	--	III
		7	13	75	13	--	--	III
F	1	1	--	--	--	35	250	II
		2	--	--	--	--	--	I
		3	15	20	--	--	--	II
		4	--	--	10	--	--	II
		5	22	35	--	--	--	II
		6	18	30	--	--	--	II
		7	14	20	16	--	--	III
	3	1	10	25	--	--	--	I

F	3	2	--	--	--	--	--	I
		3	14	30	--	--	--	I
		4	12	17	6	--	--	I
		5	10	13	--	--	--	I
		6	10	11	--	--	--	I
		7	30	60	--	--	--	III
		G	1	1	45	110	--	--
2	--			--	10	--	--	II
3	--			--	9	--	--	II
4	14			59	--	--	--	I
5	12			55	10	--	--	II
6	6			10	11	--	--	II
7	--			--	--	22	100	I
3	1		42	53	--	--	--	NC
	2		67	110	--	--	--	NC
	3		10	20	10	--	--	II
	4		--	--	--	--	--	I
	5		10	50	7	--	--	I
	6		--	--	--	--	--	I
	7		--	--	--	20	106	II

## ANEXO 5 - Comparação com os inspetores

### Classe I

Elemento	Segmento	Soma dos 15 Inspetores por classificação				I
		I	II	III	NC	
A	1	5	1	3	0	1
	2	8	0	1	0	1
	3	7	2	0	0	1
	4	7	1	1	0	1
	5	---				
	6	9	0	0	0	1
	7	9	0	0	0	1
	1	9	0	0	0	1
	2	9	0	0	0	1
	3	8	1	0	0	1
	4	6	3	0	0	1
	5					
	6	8	0	1	0	1
	7	7	1	0	1	1
B	1					
	2					
	3					
	4					
	5	6	2	1	1	1
	6					
	7	7	1	2	0	1
	1	10	0	0	0	1
2	7	1	2	0	1	
3	8	0	1	1	1	
4	10	0	0	0	1	
5	10	0	0	0	1	
6						
7	10	0	0	0	1	
C	1					

	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2	7	1	1	0	1
	3	6	0	1	2	1
	4					
	5					
	6					
	7					
D	1	8	2	1	0	1
	2					
	3	11	0	0	0	1
	4	9	0	2	0	1
	5	11	0	0	0	1
	6	10	0	1	0	1
	7	11	0	0	0	1
	1					
2						
3						
4						
5						
6						
7						
E	1					
	2					
	3	7	1	1	2	1
	4	3	3	1	4	1
	5					
	6					
	7					
	1					

	2					
	3	4	4	1	2	1
	4	0	5	6	0	1
	5					
	6					
	7					
F	1	5	2	1	1	1
	2	3	5	1	0	1
	3	4	1	2	2	1
	4	4	1	2	2	1
	5	1	6	2	0	1
	6	1	6	1	1	1
	7	4	4	1	0	1
G	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2	9	0	0	0	1
	3	7	2	0	0	1
	4	9	0	0	0	1
	5	5	2	1	1	1
	6	6	2	1	0	1
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
<b>Soma</b>		305	60	39	20	

## Classe II

Elemento	Segmento	Soma dos 15 Inspetores por classificação				II
		I	II	III	NC	
A	1					
	2					
	3					
	4					
	5	1	5	3	0	1
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5	3	4	2	0	1
	6					
	7					
B	1	10	0	0	0	1
	2					
	3	8	1	1	0	1
	4	4	3	1	2	1
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6	2	3	5	0	1
	7					
C	1	7	1	1	0	1
	2	5	1	3	0	1
	3					
	4	5	3	0	1	1
	5	4	1	0	4	1
	6	5	0	1	3	1
	7	5	0	1	3	1
	1	8	0	1	0	1
	2					
	3					
	4					

	5	8	0	1	0	1
	6	8	0	1	0	1
	7	8	0	1	0	1
D	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1	4	4	1	2	1
	2	7	1	1	2	1
	3	11	0	0	0	1
	4	10	0	0	1	1
	5	10	0	0	1	1
	6	10	0	1	0	1
	7	10	0	1	0	1
E	1	5	4	2	0	1
	2					
	3					
	4					
	5	10	0	1	0	1
	6	6	4	0	1	1
	7	6	2	1	2	1
	1	10	0	1	0	1
	2	9	1	0	1	1
	3					
	4					
	5	11	0	0	0	1
	6	9	1	1	0	1
	7	7	2	2	0	1
F	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1	3	4	2	0	1
	2					
	3					
	4					
	5					

	6					
	7	2	4	2	1	1
G	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
Soma		231	49	38	24	

### Classe III

Elemento	Segmento	Soma dos 15 Inspetores por classificação				III
		I	II	III	NC	
A	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
B	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
C	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
D	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
E	1					
	2	1	5	4	1	1
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					

	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
F	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
G	1					
	2	6	1	2	1	1
	3	5	3	2	0	1
	4	4	3	3	0	1
	5	4	2	3	1	1
	6	6	4	0	0	1
	7	8	0	1	1	1
	1					
	2	0	0	3	7	1
	3	5	4	1	0	1
	4	8	1	1	0	1
	5	6	2	0	2	1
	6	10	0	0	0	1
	7	5	1	2	2	1
Soma	68	26	22	15		

**Classe NC**

Elemento	Segmento	Soma dos 15 Inspectores por classificação				N/C
		I	II	III	NC	
A	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
B	1					
	2	2	2	2	4	1
	3					
	4					
	5					
	6	0	0	5	5	1
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
C	1					
	2					
	3	5	1	0	3	1
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4	2	3	1	3	1

	5					
	6					
	7					
D	1					
	2	3	5	2	1	1
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
E	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
F	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

	6					
	7					
G	1	0	0	2	8	1
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1	0	1	3	6	1
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
Soma	12	12	15	30		

**Total**

Classe	Soma dos inspetores			
	I	II	III	NC
<b>I</b>	305	60	39	20
<b>II</b>	231	49	38	24
<b>III</b>	68	26	22	15
<b>NC</b>	12	12	15	30

**ANEXO 6 - Média do Dmin (amostra de 5 inspetores)**

Inspetor 1		media Dmin				
Elemento	Face	Segmento	I	II	III	N/C
A	1	1	--	--	--	--
		2	9	--	--	--
		3	13	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	24	--
		6	8	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	9	--	--	--
		5	--	22	--	--
		6	--	--	--	--
		7	11	--	--	--
D	1	1	12	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	11	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	7	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
E	1	1	--	4	--	--
		2	5	--	--	--
		3	6	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	13	--	--	--
	3	1	--	--	--	--

		2	--	--	--	--
		3	--	15	--	--
		4	--	32	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		F	1	1	--	--
2	--			7	--	--
3	7			--	--	--
4	5			--	--	--
5	--			23	--	--
6	--			--	--	--
7	--			15	--	--
3	1		--	--	--	--
	2		--	--	--	--
	3		12	--	--	--
	4		9	--	--	--
	5		--	--	--	--
	6		9	--	--	--
	7		--	20	--	--
G	1	1	--	--	--	44
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	14	--
		5	--	7	--	--
		6	--	--	--	--
		7	7	--	--	--
	3	1	--	--	--	41
		2	--	--	--	68
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	1	--	--
		6	6	--	--	--
		7	--	--	--	--
		<b>media</b>	<b>8,83</b>	<b>14,60</b>	<b>19,00</b>	<b>51,00</b>
		<b>COV</b>	<b>30,14</b>	<b>67,36</b>	<b>37,22</b>	<b>29,02</b>

		media Dmin				
Inspetor 2		Segmento	I	II	III	N/C
Elemento	Face					
A	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	12	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	23	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	15	--	--
		4	--	22	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	10	--	--
B	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	13	--
		3	--	--	--	--
		4	14	--	--	--
		5	11	--	--	--
		6	--	--	36	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	19	--
		7	--	--	--	--
C	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	10	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
5	--	--	--	--		

F	1	6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	25	--
	3	6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	15	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
G	1	6	--	--	--	--
		7	--	--	12	--
		1	--	--	43	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	14	--	--
		5	--	--	--	--
	3	6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
6	--	--	--	--		
7	--	--	--	--		
		<b>media</b>	<b>11,75</b>	<b>16,50</b>	<b>24,67</b>	--
		<b>COV</b>	<b>14,53</b>	<b>30,36</b>	<b>51,07</b>	--

		media Dmin				
Inspetor 3		Segmento	I	II	III	N/C
Elemento	Face					
A	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	22	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	21	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
B	1	1	--	--	--	--
		2	--	30	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	40	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	51	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	48	--
		7	--	--	--	--
C	1	1	--	--	--	--
		2	8	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	11	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	

		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
D	1	1	--	--	--	--
		2	13	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	20	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
E	1	1	--	--	--	--
		2	--	27	--	--
		3	20	--	--	--
		4	10	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	30	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		<b>media</b>	<b>15,63</b>	<b>31,75</b>	<b>49,50</b>	<b>--</b>
		<b>COV</b>	<b>36,36</b>	<b>17,89</b>	<b>4,29</b>	<b>--</b>

Media Dmin						
Inspetor 4		Segmento	I	II	III	N/C
Elemento	Face					
A	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	23	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	22	--
		6	--	--	--	--
		7	12	--	--	--
B	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	7	--	--	--
		5	--	18	--	--
		6	--	--	--	45
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	22	--
		7	--	--	--	--
E	1	1	--	--	40	--
		2	--	--	25	--
		3	--	16	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	18	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	17	--	--
		4	--	--	30	--
		5	--	--	--	--

F	1	6	--	--	--	--
		7	--	23	--	--
		1	--	--	--	--
		2	--	--	22	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	22	--	--
	3	6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	12	--	--	--
		4	12	--	--	--
		5	--	--	--	--
G	1	6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		1	--	--	--	40
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	15	--	--
		5	--	--	--	--
	3	6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
		1	--	--	30	--
		2	--	--	--	80
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		<b>media</b>	<b>10,75</b>	<b>19,00</b>	<b>27,29</b>	<b>55,00</b>
		<b>COV</b>	<b>23,26</b>	<b>16,88</b>	<b>24,38</b>	<b>39,63</b>

media Dmin						
Inspetor 5		Segmento	I	II	III	N/C
Elemento	Face					
D	1	1	--	--	--	--
		2	--	5	--	--
		3	--	--	--	--
		4	12	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
E	1	1	--	7	--	--
		2	--	--	29	--
		3	12	--	--	--
		4	--	15	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	15	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	23	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	13	--
F	1	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	15	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	22	--	--
		6	--	18	--	--
		7	--	--	14	--
	3	1	10	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	14	--	--	--
		4	12	--	--	
		5	10	--	--	

		6	10	--	--	--	
		7	--	--	30	--	
G	1	1	--	--	--	45	
		2	--	--	--	--	
		3	--	--	--	--	
		4	14	--	--	--	
		5	--	12	--	--	
		6	--	6	--	--	
		7	--	--	--	--	
	3	1	--	--	--	--	42
		2	--	--	--	--	67
		3	--	10	--	--	--
		4	--	--	--	--	--
		5	10	--	--	--	--
		6	--	--	--	--	--
		7	--	--	--	--	--
		<b>media</b>	<b>11,56</b>	<b>12,50</b>	<b>21,80</b>	<b>51,33</b>	
		<b>COV</b>	<b>14,42</b>	<b>44,18</b>	<b>36,90</b>	<b>26,59</b>	

total	classe	I	II	III	N/C
	<b>média</b>	11,78	16,83	25,60	36,00
	<b>COV</b>	78,9	44,7	62,7	69,8

## ANEXO 7 - Total da média de todos os inspetores

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
A	1	1	19,00	25,50	0,00	0,00
		2	9,00	25,00	0,00	0,00
		3	11,60	15,20	0,00	0,00
		4	10,00	31,00	0,00	0,00
		5	23,00	37,63	0,00	0,00
		6	7,33	11,17	0,00	0,00
		7	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	15,00	22,00	0,00	0,00
		4	14,80	22,40	0,00	0,00
		5	21,00	29,43	0,00	0,00
		6	14,00	20,00	0,00	0,00
		7	9,83	11,67	0,00	0,00

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
C	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	9,60	21,50	13,33	35,67
		3	10,17	20,67	--	--
		4	0,00	0,00	0,00	0,00
		5	0,00	0,00	0,00	0,00
		6	0,00	0,00	0,00	0,00
		7	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	17,67	34,60	22,00	46,67
		3	9,20	13,80	0,00	0,00
		4	0,00	0,00	0,00	0,00
		5	0,00	0,00	0,00	0,00
		6	0,00	0,00	0,00	0,00
		7	0,00	0,00	0,00	0,00

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
B	1	1	26,67	35,00	0,00	0,00
		2	16,75	26,25	74,25	155,00
		3	60,00	0,00	16,00	57,50
		4	18,29	38,50	35,00	102,00
		5	21,00	17,71	10,00	90,00
		6	37,88	69,75	55,00	100,00
		7	7,00	20,00	10,00	45,00
	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	25,00	45,50	0,00	0,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,00
		4	0,00	0,00	0,00	0,00
		5	0,00	0,00	0,00	0,00
		6	31,00	50,25	28,00	60,00
		7	0,00	0,00	0,00	0,00

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
D	1	1	12,00	24,00	12,00	24,00
		2	18,29	42,29	39,50	80,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,00
		4	12,80	21,91	0,00	0,00
		5	18,00	43,00	0,00	0,00
		6	16,50	46,50	0,00	0,00
		7	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,00
		4	0,00	0,00	0,00	0,00
		5	0,00	0,00	0,00	0,00
		6	22,00	55,00	0,00	0,00
		7	0,00	0,00	0,00	0,00

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
F	1	1	0,00	0,00	30,71	78,57
		2	13,40	26,50	30,33	41,00
		3	10,75	16,50	14,00	21,50
		4	9,50	14,25	0,00	0,00
		5	20,50	34,89	17,00	21,00
		6	18,00	30,00	31,86	37,86
		7	14,75	18,75	0,00	0,00
	3	1	13,33	23,67	31,57	44,29
		2	5,00	7,00	14,00	24,67
		3	12,57	31,00	13,00	24,33
		4	10,29	15,57	7,00	8,00
		5	9,67	11,33	20,67	27,83
		6	9,25	10,25	28,00	45,67
		7	19,00	38,67	0,00	0,00

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
E	1	1	8,88	40,13	12,33	51,00
		2	13,67	30,33	29,14	56,71
		3	10,44	19,44	0,00	0,00
		4	16,67	36,67	35,88	111,00
		5	0,00	0,00	0,00	0,00
		6	0,00	0,00	0,00	0,00
		7	12,63	86,25	26,00	147,00
	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	13,14	79,57	20,00	120,00
		4	29,40	65,27	0,00	0,00
		5	0,00	0,00	0,00	0,00
		6	0,00	0,00	0,00	0,00
		7	20,25	85,25	0,00	0,00

Total (média)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
G	1	1	38,50	102,90	0,00	0,00
		2	5,00	6,00	0,00	0,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,00
		4	14,70	52,80	0,00	0,00
		5	12,33	55,67	0,00	0,00
		6	6,25	12,75	21,00	78,00
		7	7,00	16,00	27,00	84,75
	3	1	30,25	46,25	65,00	92,00
		2	69,38	88,88	70,00	130,00
		3	12,86	32,14	15,67	27,33
		4	0,00	0,00	3,00	15,00
		5	9,00	37,40	40,00	114,00
		6	6,00	25,00	0,00	0,00
		7	6,50	17,50	21,50	83,00

### ANEXO 8 - Total do coeficiente de variação

Total (COV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
A	1	1	7,4	2,8		
		2				
		3	13,1	7,2		
		4	42,4	50,2		
		5	5,7	6,0		
		6	28,2	11,9		
		7				
	3	1				
		2				
		3				
		4	31,5	18,6		
		5	7,3	18,3		
		6				
		7	15,0	11,7		

Total (COV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
C	1	1				
		2	52,9	49,6	54,3	63,1
		3	11,5	37,4		
		4				
		5				
		6				
		7				
	3	1				
		2	54,4	71,8	4,5	19,2
		3	19,4	3,2		
		4				
		5				
		6				
		7				

Total (CV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
B	1	1	108,3	0,0		
		2	53,0	86,1	78,2	25,3
		3			26,5	43,0
		4	60,8	58,4	88,9	79,0
		5	114,1	63,1		
		6	35,2	36,6		
		7				
	3	1				
		2	0,0	1,6		
		3				
		4				
		5				
		6	89,9	52,5		
		7				

Total (COV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
D	1	1	0,0	0,0		
		2	102,2	70,8	16,5	22,8
		3				
		4	33,9	27,0		
		5				
		6	0,0	0,0		
		7				
	3	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				

Total (COV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
F	1	1			37,8	97,8
		2	62,1	72,5	15,2	76,1
		3	40,5	24,5	10,1	16,4
		4	101,9	134,5		
		5	23,2	31,7		
		6			39,3	44,4
		7	3,4	5,1		
	3	1	63,8	63,6	43,8	43,5
		2			58,5	47,5
		3	11,1	11,6	61,1	56,7
		4	16,6	15,2		
		5	15,8	25,5	45,9	49,9
		6	5,4	4,9	19,9	18,9
		7	35,1	27,1		

Total (COV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
E	1	1	142,3	10,6	30,7	35,8
		2	77,4	95,5	29,7	32,1
		3	54,0	64,1		
		4	45,8	83,3	47,9	43,1
		5				
		6				
		7	25,0	40,2		
	3	1				
		2				
		3	33,0	77,4		
		4	11,9	21,2		
		5				
		6				
		7	24,0	10,8		

Total (COV)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
G	1	1	26,6	22,5		
		2				
		3				
		4	13,6	39,7		
		5	44,7	10,8		
		6	15,3	54,1	6,7	19,9
		7	0,0	0,0	29,6	27,9
	3	1	40,2	12,3		
		2	27,6	21,8		
		3	62,6	72,2	74,0	56,0
		4				
		5	53,3	42,8		
		6	0,0	0,0		
		7	32,6	60,6	9,9	39,2

## ANEXO 9 - Total do desvio padrão

Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
A	1	1	1	1	--	--
		2	--	--	--	--
		3	2	1	--	--
		4	4	16	--	--
		5	1	2	--	--
		6	2	1	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	5	4	--	--
		5	2	5	--	--
		6	--	--	--	--
		7	1	1	--	--

Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
C	1	1	--	--	--	--
		2	5	11	7	23
		3	1	8	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	10	25	1	9
		3	2	0	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--

Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
B	1	1	29	0	--	--
		2	9	23	58	39
		3	--	--	4	25
		4	11	22	31	81
		5	24	11	--	--
		6	13	26	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	0	1	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	28	26	--	--
		7	--	--	--	--

Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
D	1	1	0	0	--	--
		2	19	30	7	18
		3	--	--	--	--
		4	4	6	--	--
		5	--	--	--	--
		6	0	0	--	--
		7	--	--	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	--	--	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	--	--	--	--

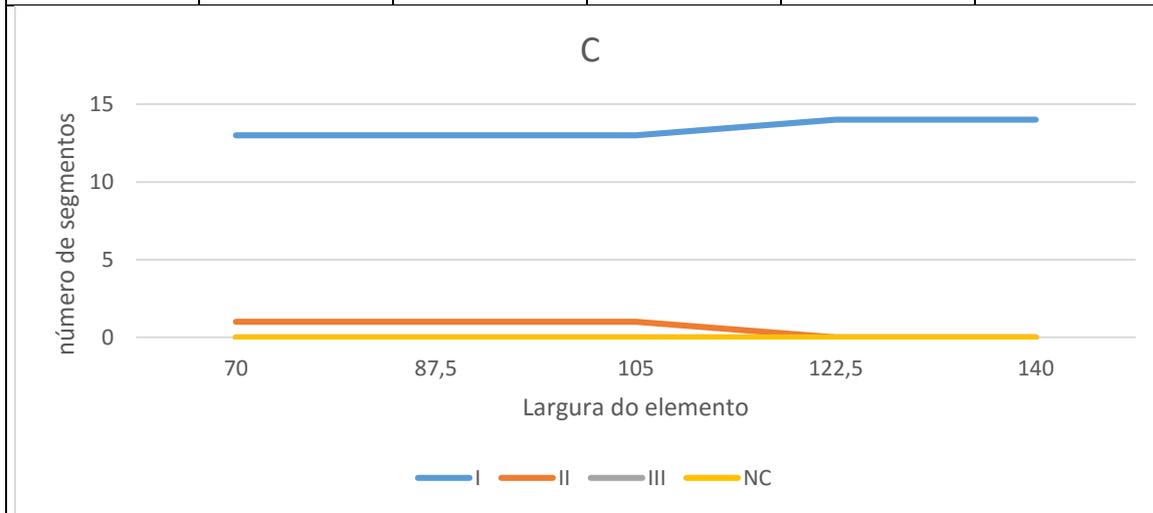
Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
F	1	1	--	--	12	77
		2	8	19	5	31
		3	4	4	1	4
		4	10	19	--	--
		5	5	11	--	--
		6	--	--	13	17
		7	1	1	--	--
	3	1	9	15	14	19
		2	--	--	8	12
		3	1	4	8	14
		4	2	2	--	--
		5	2	3	9	14
		6	1	1	6	9
		7	7	10	--	--

Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
E	1	1	13	4	4	18
		2	11	29	9	18
		3	6	12	--	--
		4	8	31	17	48
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	3	35	--	--
	3	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	4	62	--	--
		4	4	14	--	--
		5	--	--	--	--
		6	--	--	--	--
		7	5	9	--	--

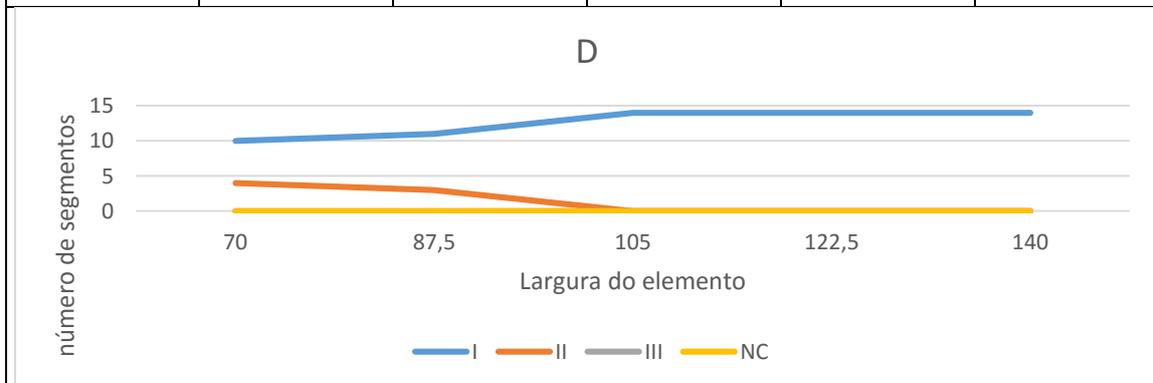
Total (desvio padrao)		Segmento	Nós isolados (mm)		Nós agrupados (mm)	
Elemento	Face		Dmin	Dmax	Dmin	Dmax
G	1	1	10	23	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
		4	2	21	--	--
		5	6	6	--	--
		6	1	7	1	16
		7	0	0	8	24
	3	1	12	6	--	--
		2	19	19	--	--
		3	8	23	12	15
		4	--	--	--	--
		5	5	16	--	--
		6	0	0	--	--
		7	2	11	2	33

### ANEXO 10 - Análise da influência da largura

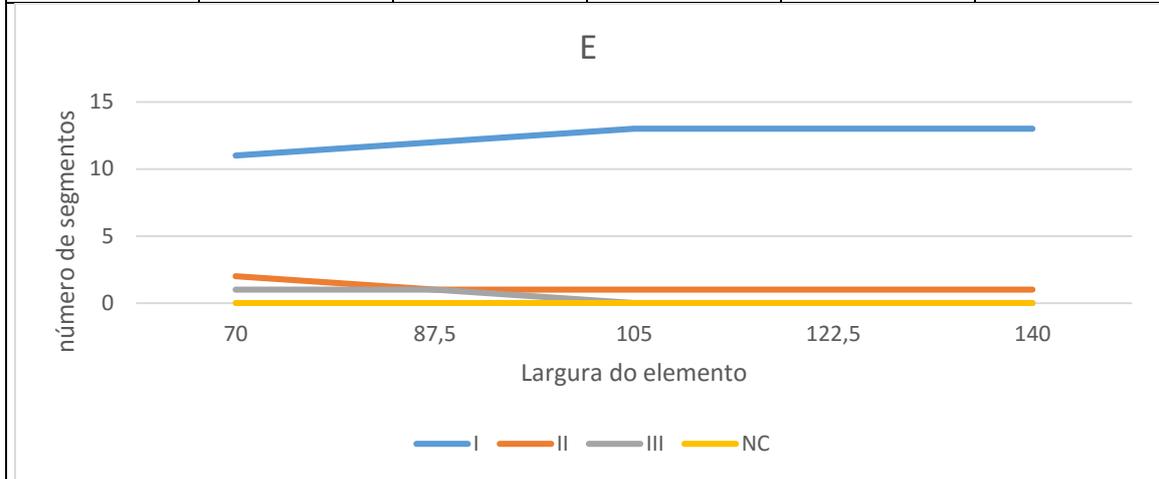
C	Largura	I	II	III	NC
	70	13	1	0	0
	87,5	13	1	0	0
	105	13	1	0	0
	122,5	14	0	0	0
	140	14	0	0	0



D	Largura	I	II	III	NC
	70	10	4	0	0
	87,5	11	3	0	0
	105	14	0	0	0
	122,5	14	0	0	0
	140	14	0	0	0



E	Largura	I	II	III	NC
	70	11	2	1	0
	87,5	12	1	1	0
	105	13	1	0	0
	122,5	13	1	0	0
	140	13	1	0	0



F	Largura	I	II	III	NC
	70	10	4	0	0
	87,5	11	3	0	0
	105	14	0	0	0
	122,5	14	0	0	0
	140	14	0	0	0

