

Introdução à Nova Linguagem ISO de Especificação Geométrica de Produtos

Parte 2: Modelo para a especificação e verificação geométricas *

José António Almacinha **

Resumo

Neste artigo, o segundo de uma série de dois sobre os fundamentos da nova linguagem ISO de Especificação geométrica de produtos (GPS), baseada numa matematização dos conceitos e utilizável em concepção, fabricação e verificação, a atenção é dirigida ao modelo para uma abordagem integrada dos procedimentos de especificação e verificação geométrica de produtos, proposto pela ISO. Partindo da definição actual de especificação geométrica, introduzem-se os conceitos de “modelo da superfície não ideal” (“skin model”) e de “operações para elementos”, que desempenham um papel central no novo sistema GPS, assinalando-se, também, a importância atribuída ao conceito de incerteza, neste novo contexto.

1 Introdução

A utilização de tecnologia baseada em sistemas computadorizados está em crescimento ao nível industrial, o que condiciona, cada vez mais, as oportunidades de interacção humana, no âmbito dos diferentes processos de fabricação. Por isso, há uma necessidade de modelar o conhecimento relevante, através da utilização de um método mais preciso para expressar os requisitos funcionais das peças, de especificações completas e bem definidas e de estratégias de verificação integradas, de modo a facilitar a sua inclusão em **sistemas 3D CAD/CAM/CAQ** (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Quality).

Neste enquadramento, a Organização internacional de normalização (ISO) tem vindo a desenvolver os fundamentos de uma nova linguagem ISO de Especificação geométrica de produtos (GPS), baseada numa matematização dos conceitos e utilizável em concepção, fabricação e verificação [1].

Na parte 1 deste texto, publicada na Tecnometal nº. 161 [2], assinalou-se o papel importante que os elementos geométricos componentes das superfícies das peças e a sua classificação baseada no conceito matemático de “grupo de simetria” desempenham na **nova linguagem GPS** em

* In Revista Tecnometal. Porto: AIMMAP, Janeiro / Fevereiro 2006, 162, p. 9-16.

** Docente da Secção de Desenho Industrial do DEMEGI-FEUP, colaborador do ONS-INEGI e secretário das Comissões técnicas portuguesas de normalização CT1 e CT9.

desenvolvimento. Mostrou-se, também, que essa nova linguagem permite estabelecer uma classificação dos elementos geométricos extensível às ligações cinemáticas entre dois corpos, definir referências especificadas em termos de toleranciamento geométrico e fornece uma base racional para a parametrização da situação relativa entre elementos.

Os conceitos e as ferramentas para esta nova abordagem estão descritos nas especificações técnicas ISO/TS 17450-1 e -2 [3, 4]. Estas ferramentas são baseadas nas **características** dos elementos e nas **restrições** entre elementos, abordadas na parte 1 deste texto [2], e nas **operações** utilizadas para a criação de diferentes elementos geométricos (ver secção 2.4).

Ao considerar **a existência de elementos geométricos** (“geometrical features”) **nos domínios da definição nominal, da especificação e da verificação**, a nova linguagem GPS põe a descoberto a existência de conjuntos de operações duais, nos processos de especificação e de verificação, tornando possível harmonizar o conjunto de operações (anteriormente não referidas explicitamente) envolvidas nas especificações de tolerâncias com as operações utilizadas durante o controlo das peças.

Por outro lado, com o desenvolvimento de uma nova visão integrada da especificação e verificação, constatou-se que **a noção de incerteza**, actualmente bem enraizada no domínio da metrologia, **deveria ser generalizada para além da medição**. Nesse sentido, a ISO/TS 17450-2 **formaliza as diferentes incertezas do conjunto dos elos da cadeia que assegura a passagem da necessidade funcional à mensuranda**, permitindo, desse modo, relativizar a importância das incertezas de implementação derivadas do meio de medição.

2 Modelo para a especificação e verificação geométricas

2.1 Objectivo e campo de aplicação

O documento normativo ISO/TS 17450-1 propõe um modelo que foi concebido para permitir a expressão dos conceitos fundamentais da especificação geométrica no domínio GPS, através de uma abordagem global, e uma matematização desses conceitos que facilite a sua integração em sistemas informáticos.

O seu objectivo é o estabelecimento das bases de uma linguagem (e não directamente a linguagem) de definição geométrica de produtos, utilizável em concepção (de conjuntos e peças individuais), fabricação e verificação (incluindo a descrição do procedimento de medição), independentemente do suporte de comunicação (papel de desenho, desenho numérico, ficheiro de intercâmbio).

Pretende-se também que possa servir como uma ferramenta de base no âmbito da revisão das actuais normas de cotação e toleranciamentos, que tem vindo a ser realizada de um modo sistemático e unificado.

2.2 O actual conceito de especificação geométrica

A **especificação geométrica** é a etapa da concepção em que se estabelece o campo das variações admissíveis (tolerâncias) de um conjunto de características de uma dada peça, que satisfazem os requisitos necessários ao desempenho funcional desta (necessidade funcional). Define, também, um nível de qualidade em adequação com o processo de fabricação, os limites admissíveis para a fabricação e os critérios de decisão sobre a conformidade da peça [3].

Esta nova definição faz referência aos três domínios de actividade respeitantes a um produto em desenvolvimento, aquando da operação de especificação: a sua função, a sua fabricação e o seu controlo. Ao admitir que os processos de fabricação são conhecidos durante a especificação, a ISO/TS 17450-1 parece ir no sentido de propor uma reorganização das diferentes operações necessárias à obtenção do produto, num quadro de “engenharia simultânea”.

2.3 O contexto da especificação geométrica

A Especificação técnica de um produto (TPS) – conjunto de documentos técnicos que incluem a definição de concepção e a especificação completas desse produto, para fins de fabricação e verificação [5] – socorre-se de um conjunto de modelos da superfície real de cada uma das peças componentes – os **modelos da superfície** – para definir a totalidade do produto. Um modelo da superfície é uma superfície fechada que representa a interface completa da peça com o seu meio envolvente e permite a definição de elementos geométricos simples, compostos e porções de elementos [2, 6]

A **especificação geométrica** interessa-se pois pela superfície da peça e insere-se numa cadeia de definições que vai desde a necessidade funcional até ao resultado da medição (ver figura 1).

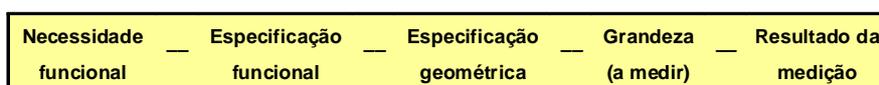


Figura 1 – Cadeia de definições

No estágio inicial da concepção, o **projectista** começa por estabelecer uma “peça” perfeita com forma e dimensões que se ajustam às funções pretendidas para o mecanismo. Este modelo de “peça perfeita”, definido através da documentação técnica do produto (TPD) [5], designa-se por **modelo da superfície nominal** [ver figura 2 a)].

Esta primeira etapa (**concepção nominal**) dá origem a uma representação da peça apenas com **valores nominais que são impossíveis de produzir ou inspeccionar** (uma vez que cada processo de fabricação ou de medição tem a sua própria variabilidade ou incerteza). O modelo da superfície nominal é uma superfície contínua constituída por um número infinito de pontos, sendo ele próprio um elemento ideal composto. É neste modelo, em representações 2D ou 3D, que são indicados os vários

símbolos e anotações que contêm a informação sobre as características dos seus elementos geométricos constituintes – a **sintaxe da linguagem GPS**.

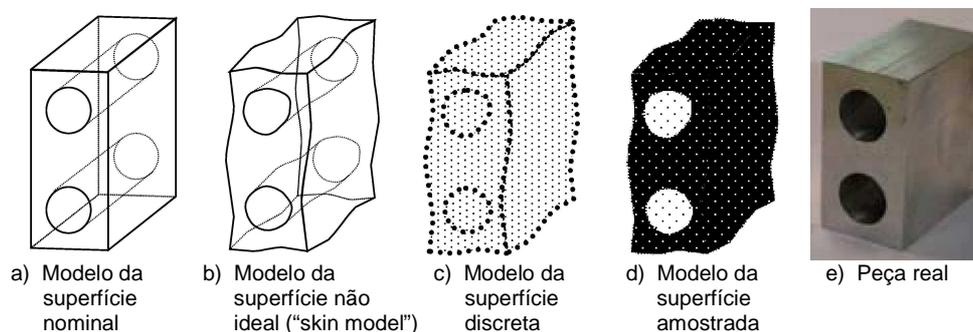


Figura 2 – Exemplo da superfície real de uma peça e seus modelos

Por outro lado, a **superfície real da peça** (ou pele da peça), conjunto dos elementos que existem fisicamente e separam a totalidade da peça do seu meio envolvente [ver figura 2 e)], é complexa (geometricamente imperfeita), sendo impossível apreender completamente a sua variação dimensional, de modo a perceber totalmente a amplitude completa de toda a variação.

Neste enquadramento, o documento ISO/TS 17450-1 introduz o conceito de **modelo da superfície não ideal** (ou “skin model” – modelo da pele), que é uma representação da interface física da peça, onde vão ser formalizados os conjuntos ordenados de **operações de especificação geométrica e de verificação**, que não podem ser executadas directamente sobre a peça real [ver figura 2 b)].

Assim, a partir da geometria nominal, o projectista concebe um **modelo virtual da superfície real** que representa as variações que poderiam ser esperadas nessa superfície (**intenção da concepção**). Este modelo é uma superfície contínua constituída por um número infinito de pontos que pode ser decomposta em elementos de forma imperfeita (elementos não ideais).

O **modelo da superfície não ideal (“skin model”)** é, pois, utilizado para simular variações da superfície a um nível conceptual, correspondendo à expressão da **semântica da linguagem GPS**. Neste modelo, o **projectista** deverá ser capaz de otimizar os limites máximos admissíveis, para os quais a função da peça se degrada, mas continua ainda a ser assegurada. Estes limites máximos admissíveis definem as tolerâncias de cada característica geométrica da peça. A ISO/TS 17450-1 não inclui a metodologia para avaliar a proximidade da especificação geométrica em relação às especificações funcionais (incerteza de correlação).

No entanto, por vezes, a formalização das operações de especificação geométrica e de verificação requer que seja tido em conta apenas um número finito de pontos. Nesse sentido, a partir do “skin model”, considera-se a extracção do conjunto de pontos necessários, obtendo-se um **modelo da superfície discreta**, que é também ele próprio um elemento não ideal [ver figura 2 c)].

Na figura 3, pode observar-se uma aplicação simples deste conceito, para o caso da tolerância de inclinação de um elemento geométrico de uma peça, num exemplo retirado da norma ISO 1101 – *Toleranciamento geométrico* [7].

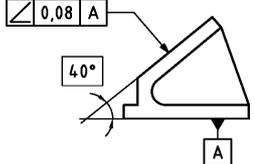
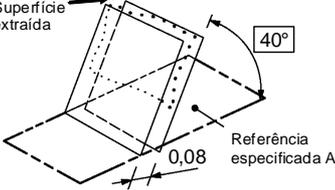
Indicação no desenho (sintaxe)	Interpretação (semântica)
 <p data-bbox="392 651 758 696">Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma superfície de referência</p>	 <p data-bbox="772 651 1201 734">A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,08 e inclinados de um ângulo teoricamente exacto de 40°, em relação ao plano de referência A.</p>

Figura 3 – Exemplo da sintaxe e da semântica de um toleranciamento geométrico de inclinação [7]

A **verificação** é a etapa da fabricação em que um **metrologista** determina se a **superfície real de uma peça** está conforme com o campo de variações admissíveis que foi especificado. Com a utilização de **metrologia digital computadorizada** (ex.: máquinas de medição de coordenadas), o modelo da superfície discreta é aproximado através de uma amostragem de pontos da peça efectuada com instrumentos de medição, daí resultando o **modelo da superfície amostrada** [ver figura 2 d)], que é um elemento não ideal constituído por um número finito de pontos. No caso de uma verificação com instrumentos de **metrologia convencional** (ex.: calibres), trabalha-se directamente com a própria **superfície real da peça** [6]. O registo dos desvios geométricos verificados deverá ser utilizado pelo **fabricante** para ajustar o processo de fabricação.

O **metrologista** começa por ler a especificação, tendo em conta o “skin model” ou o “modelo da superfície discreta”, para conhecer as características especificadas. Seguidamente, a partir da superfície real da peça, define as etapas individuais do plano de verificação, dependendo dos equipamentos de medição.

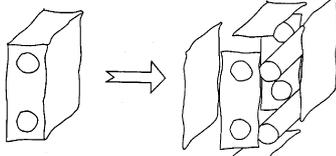
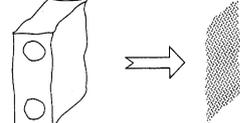
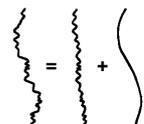
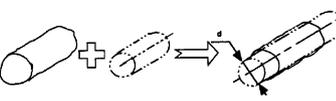
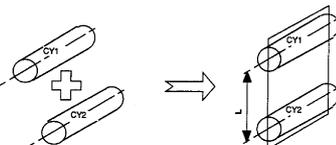
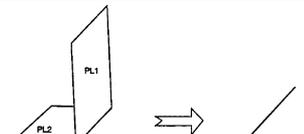
A conformidade é então determinada através da comparação das características especificadas com o resultado da medição da peça.

O modelo da superfície não ideal (“skin model”) corresponde à formalização da etapa de especificação, em que são estabelecidos princípios, requisitos e tolerâncias, e interessa aos três principais intervenientes na realização de um produto. A sua principal função é, talvez, a de fazer o projectista tomar consciência de que a realidade é complexa e não pode ser reduzida a uma geometria nominal.

2.4 Operações para elementos geométricos

A nova linguagem GPS permite definir uma especificação geométrica como um conjunto ordenado de operações (designado de **operador**) que pode ser considerado como uma instrução virtual de medição, em que cada operação e os seus parâmetros definidores são passos do processo de medição [8]. As **operações** são ferramentas específicas necessárias para a obtenção de elementos (ideais ou não ideais) ou valores de características, o seu valor nominal e o(s) seu(s) limite(s). As operações consideradas estão apresentadas, de um modo sucinto, no quadro 1, podendo ser utilizadas sem qualquer ordem específica.

Quadro 1 – Operações para elementos geométricos

<p>Partição</p> <p>Operação utilizada para identificar elemento(s) limitado(s), a partir de elemento(s) não ideal(ais) (pertencentes ao “skin model”) ou de elemento(s) ideal(ais).</p>	
<p>Extracção</p> <p>Operação utilizada para identificar pontos específicos, a partir de um elemento não ideal. Obtém-se um número finito de pontos.</p>	
<p>Filtragem</p> <p>Operação utilizada para criar um elemento não ideal, através da redução do nível de informação de um elemento não ideal (ex.: separando a rugosidade, a ondulação, a forma, etc.).</p>	
<p>Associação</p> <p>Operação utilizada para ajustar elemento(s) ideal(ais) a elemento(s) não ideal(ais), de acordo com regras específicas que são designadas de critérios. Os critérios de associação dão um objectivo numa característica e podem fixar restrições.</p>	
<p>Colecção</p> <p>Operação utilizada para considerar vários elementos em conjunto, em concordância com a função da peça. Uma característica de situação entre dois elementos transforma-se numa característica intrínseca do elemento composto.</p>	
<p>Construção</p> <p>Operação utilizada para construir elemento(s) ideal(ais), a partir de outros elementos ideais. Esta operação deve respeitar as restrições.</p>	
<p>Avaliação</p> <p>Operação utilizada para identificar o valor de uma característica ou o seu valor nominal e os seu(s) limite(s).</p>	

Ao generalizar o conceito de **operações** aos domínios da concepção nominal, da especificação e da verificação, de acordo com esquema apresentado na figura 4, a nova linguagem GPS estabelece um sistema em que o procedimento de especificação é paralelo ao procedimento de verificação e onde

cada operação simples, que pode influenciar o resultado da medição, deve ser expressa através de uma especificação por omissão (“by default”) ou de uma especificação detalhada especial [9].

Assim, na etapa de **Concepção nominal**, o modelo da superfície nominal [ver figura 2 a)] é decomposto em elementos nominais, através de operações de partição, colecção e/ou construção, sendo cada um deles rotulado com um conjunto de símbolos gráficos e anotações, que constitui a **sintaxe do toleranciamento**.

Por sua vez, a **semântica do toleranciamento** (o significado da simbologia e das anotações inscritas) é apresentada sob a denominação de **Intenção da concepção** (procedimento de especificação). Os detalhes sobre a forma como são definidos os elementos de forma imperfeita (elementos não ideais) são agrupados num **operador de especificação**, que reside apenas na **imaginação do projectista**. O procedimento de medição deverá imitar, tanto quanto possível, o procedimento de especificação, de modo a preservar a integridade da intenção da concepção.

Finalmente, uma análise dos procedimentos de medição reais, descritos sob a denominação de **Verificação de peças fabricadas para conformidade com a intenção da concepção**, permite perceber que os metrologistas utilizam várias operações para elementos, indicadas no **operador de verificação**. As operações para elementos, no operador de especificação, reflectem, simplesmente, as do operador de verificação.

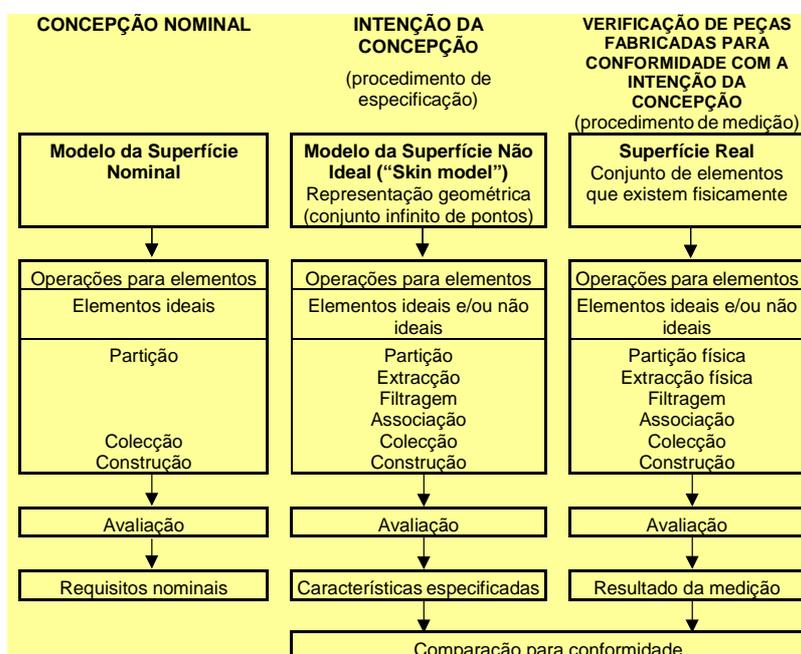


Figura 4 – Comparação entre toleranciamento e metrologia

Esta relação biunívoca proporciona as bases técnicas para uma visão integrada da especificação e verificação geométricas de produtos.

Os conjuntos duais de operações para elementos, indicados na figura 4, merecem alguns comentários, já que aquelas operações são mais familiares aos metrologistas. Um projectista responsável pela sua intenção de concepção, geralmente, não pensa ou documenta, explicitamente, os detalhes incorporados no operador de especificação.

Antes de mais, deve ser tido em conta que a generalidade dos conceitos expressos nos novos documentos normativos GPS assenta, por omissão, numa **metrologia digital computadorizada**, que é, cada vez mais, **o meio de referência** utilizado, na indústria, para a verificação dimensional e geométrica de produtos.

Na perspectiva da **verificação**, o metrologista observa a superfície de uma peça fabricada, ou seja, um objecto físico, o que se enquadra na denominação de **Superfície real**, indicada na figura 4. Essa superfície é constituída por um **número infinito de pontos** que separam a peça do seu meio envolvente. Como não é possível formular uma representação matemática daquele conjunto de pontos, torna-se necessário dispor de alguma informação complementar, para poder caracterizar a resolução com que a superfície real está a ser observada [10].

As várias operações para elementos, inscritas no **operador de verificação** esquematizado na figura 4, não estão sujeitas a qualquer sequência implícita.

Assim, em termos do **procedimento de medição**, a superfície real de uma peça começa por ser **partida** em elementos integrais reais, constituídos por uma infinidade de pontos. No entanto, durante a inspecção real, esses elementos são aproximados através de uma amostragem composta por um número finito de pontos, dando origem aos elementos integrais extraídos [2]. Por si só, essa amostragem é insuficiente para assegurar a **extracção** de um elemento, devendo ser acompanhada pela remoção (**filtragem**) do ruído e de detalhes desnecessários existentes na informação da medição. Seguidamente, através de uma operação de **associação**, ajustam-se superfícies ideais à informação extraída e filtrada. Por vezes, os elementos geométricos são agrupados através de operações de **colecção** ou sujeitos a uma operação de **construção** (ver quadro 1).

Do ponto de vista da **especificação**, deve ser registado que o projectista não pode ser um mero espectador face às decisões, tomadas pelo metrologista, sobre as operações atrás referidas, uma vez que aquelas podem ter influência na funcionalidade final da peça.

O **princípio de dualidade**, postulado pela Comissão técnica ISO/TC 213, é a solução proposta para este problema. Segundo este princípio, o **operador de especificação** e o **operador de verificação** são duais e biunívocos – um imaginado pelo projectista e o outro posto em prática pelo metrologista. A definição explícita das operações para elementos poderá reduzir a probabilidade do projectista ser confrontado com produtos que não respeitam os requisitos funcionais, em resultado das operações realizadas pelo metrologista.

Neste âmbito, e a título de exemplo, pode referir-se a futura emenda normativa ISO 1101:2004/Adm 2 [11], actualmente ainda em fase de projecto, que irá estabelecer o modo de indicação de operadores de especificação especiais para as tolerâncias geométricas de forma (rectitude, circularidade, planeza e cilindridade), com vista a reduzir a incerteza da sua especificação.

No entanto, **o princípio da dualidade não deve violar a respeitada independência do princípio de verificação**, que estipula que o projectista deve especificar, apenas, aquilo que é requerido para uma peça e não o respectivo modo de verificação.

Analisando, agora, o operador de especificação, pode começar por afirmar-se que as operações de **partição**, **colecção** e **construção** são claramente necessárias neste operador. Por sua vez, a **associação** é uma operação de ajustamento geométrico que pode ser definida, matematicamente, como um problema de optimização com restrições, sendo necessária para definir, por exemplo, referências especificadas e tolerâncias de localização. Finalmente, as operações de **extracção** e de **filtragem** são necessárias na preparação de dados para os algoritmos de optimização [10].

As operações de associação, extracção e filtragem poderão ser dispensadas, se for considerada uma operação física no operador de verificação (ex.: a utilização de um plano de medição para estabelecer uma referência especificada plana), em vez de uma operação de definição da “referência especificada”, estabelecida no operador de especificação. Neste caso, o dispositivo físico tornar-se-ia a definição primária de um processo de verificação. No entanto, a ISO/TC 213 tomou a decisão de desenvolver a nova linguagem GPS baseada em princípios matemáticos, por oposição às anteriores definições assentes em exemplos práticos, de modo a que as funções do produto possam ser simuladas através de modelos físicos e matemáticos.

Na figura 5, descreve-se a aplicação de uma sequência de operações para elementos geométricos, na definição de uma referência especificada utilizada em toleranciamento geométrico, num exemplo retirado da norma ISO 5459 [12].

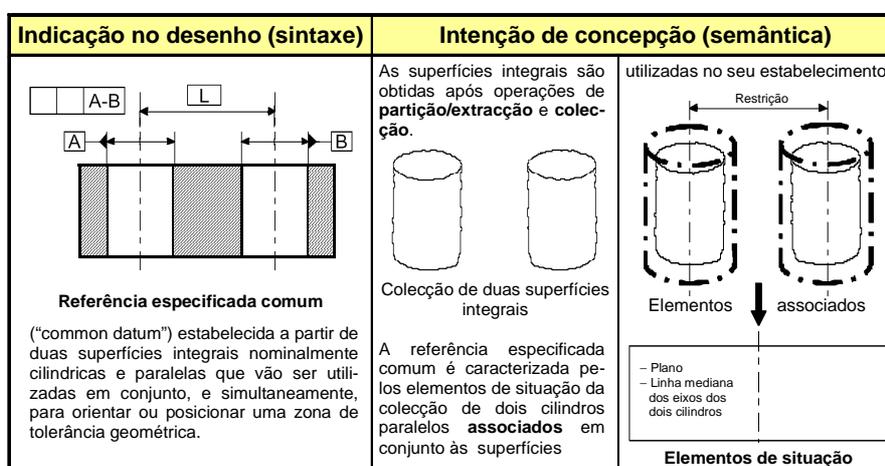


Figura 5 – Exemplo de definição de uma referência especificada a partir de uma sequência de operações [12]

A filosofia de base da Comissão técnica ISO/TC 213 preconiza apenas a normalização dos operadores de especificação. Os operadores de verificação deverão implementar as operações para elementos, normalizadas nos operadores de especificação, com uma contabilização cuidada da quantidade de incerteza, em cada passo da implementação.

Em síntese, os elementos em que são expressas as características geométricas são retirados dos modelos ou da peça real, com a ajuda de operações. O interesse do documento ISO/TS 17450-1 reside muito na formalização das operações e na necessidade, que daí decorre, de fornecer a sua respectiva sequência. O valor da característica toleranciada ou verificada é, deste modo, plenamente definido e não necessita de mais nenhuma interpretação.

2.5 Métodos de especificação geométrica

A ISO/TC 213 está a utilizar os conceitos e as ferramentas apresentados nestes dois textos como uma base para a revisão das actuais normas de cotação e toleranciamento (ver os exemplos das figuras 3 e 5) e para o desenvolvimento de uma nova geração de normas GPS que possa vir a assegurar uma melhor integração desta linguagem em sistemas CAD/CAM/CAQ 3D.

A nova linguagem GPS é pois uma evolução necessária da cotação e do toleranciamento tradicionais e não uma revolução. Neste contexto, a ISO/TS 17450-1 [3] estabelece dois métodos de especificação geométrica:

- **Especificação por zona de tolerância**, em que a variação admissível (toleranciada) de um elemento não ideal deve estar compreendida no interior de um espaço limitado por (um) elemento(s) ideal(ais). Este modo de especificação corresponde ao toleranciamento geométrico, actualmente utilizado no desenho técnico, (ver exemplo da figura 3).
- **Especificação por dimensão** (ou especificação das características geométricas), em que se limita o valor admissível (toleranciado) de uma característica intrínseca ou de uma característica de situação entre elementos ideais (elementos associados). Este modo de especificação, introduzido em 1998, reflecte os métodos utilizados pelas máquinas de medição de coordenadas [13] e integra a nova linguagem GPS baseada nas operações para elementos, permitindo fixar os limites de uma grandeza do tipo comprimento ou ângulo (ver figura 6).

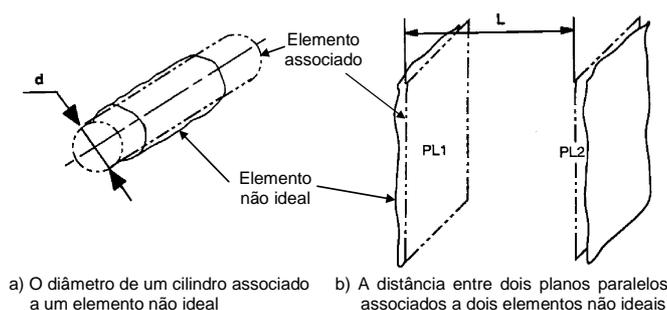


Figura 6 – Exemplos de especificações por dimensão

3 Princípios de base do conceito GPS

Com o desenvolvimento da nova visão integrada da especificação e da verificação geométricas, constatou-se que **a noção de incerteza**, actualmente bem enraizada no domínio da metrologia, **deveria ser generalizada a todos os elos da cadeia que assegura a passagem da necessidade funcional à mensuranda**, o que permite relativizar a importância das incertezas de implementação resultantes do meio de medição [10].

A especificação técnica ISO/TS 17450-2 [4] expressa os fundamentos da filosofia GPS, que estão na génese das normas elaboradas pela ISO/TC 213, através dos seguintes quatro princípios de base:

- A: É possível controlar, de modo significativo, a função de uma peça/elemento utilizando uma ou mais especificações GPS, inscritas na documentação técnica do produto. A correlação entre a função da peça/elemento e a(s) especificação(ões) utilizada(s) pode ser mais ou menos boa. Por outras palavras, a **incerteza de correlação** pode ser pequena ou grande.
- B: Uma especificação GPS para uma característica GPS deve estar inscrita na documentação técnica do produto. A peça/elemento deve ser considerada aceitável/bom quando a especificação é satisfeita. **Apenas aquilo que é explicitamente requerido na documentação técnica do produto deve ser tido em consideração.** A especificação GPS real, inscrita na documentação técnica do produto, define a mensuranda. Esta especificação pode ser perfeita/completa ou imperfeita/incompleta. Por outras palavras, a **incerteza de especificação** pode situar-se entre zero e um valor muito grande.
- C: A realização de uma especificação GPS é independente da especificação GPS. Uma especificação GPS é realizada através de um operador de verificação. A especificação GPS não prescreve quais os operadores de verificação que são aceitáveis. A aceitabilidade de um operador de verificação é avaliada a partir da **incerteza de medição** e, em certos casos, da **incerteza de especificação**.
- D: As regras e definições GPS normalizadas para a verificação definem meios teoricamente perfeitos para determinar a conformidade ou a não conformidade de uma peça/elemento com uma especificação GPS. No entanto, a verificação é sempre executada de forma imperfeita. A verificação inclui sempre uma **incerteza de implementação**, uma vez que a verificação envolve a realização da especificação GPS, com equipamento de medição real que nunca é perfeito.

3.1 O impacto da incerteza nos princípios de base

Nos processos de desenvolvimento de produtos, a grande questão que se coloca é a de saber se as peças fabricadas, quando montadas, irão desempenhar a função pretendida. Neste âmbito, a ISO/TC 213 postula o seguinte **princípio de incerteza generalizada**: existirá sempre alguma incerteza sobre

se o produto acabado irá desempenhar a função pretendida. **A incerteza é pois, apenas, uma expressão para a “falta de informação”.**

A **incerteza** é um parâmetro, associado a um valor indicado ou a uma relação, que caracteriza a dispersão dos valores que lhes poderão ser razoavelmente atribuídos [4]. No domínio GPS, um **valor indicado** pode ser um resultado da medição ou um limite de especificação; uma **relação** é, normalmente, a diferença entre os valores fornecidos por dois operadores diferentes (ex.: um operador de especificação e um operador de verificação real), para um mesmo elemento.

A incerteza é uma ferramenta poderosa para comunicar as magnitudes do “risco” de uma decisão baseada nos resultados da verificação, mas só deve ser despendido tempo na sua determinação se isso for importante para a função da peça e se for vantajoso em termos de custo-benefício para a empresa.

A **incerteza de correlação** (que as normas actuais ainda não dizem como se determina) é a incerteza resultante da transformação da função pretendida para a peça em especificação geométrica, indicada na documentação técnica do produto. Por exemplo, a transformação de uma condição de vedação, necessária num sistema, em especificações dimensionais e geométricas num veio componente. Este tipo de incerteza refere-se ao caso de controlo imperfeito da função.

A **incerteza de especificação** (que as normas actuais também não dizem como se determina) é a incerteza que pode resultar da ambiguidade das especificações (imperfeitas/incompletas). Este tipo de incerteza implica a ausência de controlo completo da função.

A **incerteza do método** resulta, nomeadamente, da diferença que pode existir entre o que é especificado e o método que se utiliza para a sua verificação. Por exemplo, a maioria dos actuais programas informáticos das máquinas de medição de coordenadas (CMM – “Coordinate Measuring Machine”) introduz incertezas na medição, derivadas dos métodos residentes.

A **incerteza de implementação** é resultante dos desvios físicos ligados às características metrológicas do instrumento de medição e às influências do meio ambiente.

4 Considerações finais

A nova linguagem ISO de especificação geométrica de produtos (GPS), em desenvolvimento, fornece as bases técnicas para uma abordagem integrada dos procedimentos de especificação e de verificação geométricas.

Através de conceitos como o de “skin model” e o de “operadores”, a nova linguagem GPS põe a descoberto a existência de conjuntos de operações duais, nos processos de especificação e de

verificação, tornando possível harmonizar o conjunto de operações (anteriormente não referidas explicitamente) envolvidas nas especificações de tolerâncias com as operações utilizadas durante o controlo das peças.

Finalmente, a generalização do conceito de incerteza pelas diferentes fases do processo de desenvolvimento de produtos permitirá uma melhor avaliação do grau de correlação entre a especificação e os requisitos funcionais, das ambiguidades que existem na própria especificação e da incerteza da medição, transformando a incerteza numa ferramenta de gestão económica dos recursos a afectar aos diferentes sectores da empresa (especificação, fabricação e verificação), com vista a promover a melhoria contínua da qualidade dos produtos e dos prazos de entrega.

5 Referências

- [1] – Business Plan of ISO/TC 213 – Dimensional and geometrical product specifications and verification. Versão 4 Draft 3. ISO, 2004-10-14, 14 p.
- [2] – ALMACINHA, J. A. – Introdução à Nova Linguagem ISO de Especificação Geométrica de Produtos – Parte 1: A classificação dos elementos geométricos de superfície e suas aplicações. Rev. Tecnometal. Porto: AIMMAP. 2005, 161, p. 7-14.
- [3] – ISO/TS 17450-1. 2005 – Geometrical product specifications (GPS) – General concepts – Part 1: Model for geometric specification and verification. ISO.
- [4] – ISO/TS 17450-2. 2002 – Geometrical product specifications (GPS) – General concepts – Part 2: Basic tenets, specifications, operators and uncertainties. ISO.
- [5] – ALMACINHA, J. A. – O Sistema Normativo para Uma Especificação técnica de Produtos adequada ao Mercado Global no Domínio da Construção Mecânica. Rev. Tecnometal. Porto: AIMMAP. 2005, 159, p. 5-13.
- [6] – ISO/CD 22432-1. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Features utilized in specification and verification – Part 1: General. ISO.
- [7] – ISO 1101. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out. ISO.
- [8] – NIELSEN, H. S. – Specifications, operators and uncertainties. The 8th CIRP International Seminar on Computer Aided Tolerancing – Managing Geometric Uncertainty in the Product Lifecycle. University of North Caroline. Charlotte. USA. 28 e 29-04-2003.
- [9] – DOVMARK, J. – New interesting concepts from ISO/TC 213. CMM Club Italia Seminar. Milan. Italy. Sept. 2000.
- [10] – SRINIVASAN, V. – An Integrated View of Geometrical Product Specification and Verification. The 7th CIRP International Seminar on Computer Aided. ENS de Cachan. France. 24 e 25-04-2001.
- [11] – ISO 1101. 2004/WD Amd 2 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out – Amendment 2: Indication of special specification operators for straightness, roundness, flatness and cylindricity. ISO.
- [12] – ISO/DIS 5459.2. 2004 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Datums and datum-systems. ISO.
- [13] – TAKAMASU, K.; FURUTANI, R.; OZONO, S. – Basic concept of feature-based metrology. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 26 (1999), p. 151-156.