

1 Escopo

Este documento especifica os métodos para a determinação das características dimensionais (comprimento, largura, retitude dos lados, ortogonalidade e curvatura da superfície) das placas cerâmicas pelo método de medição por coordenadas.

Este método é recomendado para placas cerâmicas com comprimento maior que 60 cm.

NOTA 1: Para formatos menores, recomenda-se adotar o método proposto na ISO 10545 - Placas Cerâmicas – Parte 2: Determinação das dimensões e qualidade superficial. Entretanto, para peças com comprimento maior que 30 cm até 60 cm, recomenda-se que a medição seja realizada em dataplucômetro inclinado a $(83\pm 3)^\circ$.

NOTA 2: Este manual propõe um método de medição mais confiável, replicando os princípios do método atual previsto na ISO 10545-2, ao eliminar a deformação elástica das placas de grande formato durante o ensaio normativo. Não é recomendado realizar a medição da peça 100% apoiada em bases rígidas, uma vez que, devido ao seu peso, a peça tende a se conformar à base, o que não reproduz o efeito de peças instaladas na parede ou sobre a argamassa de assentamento. Isso minimiza os desvios de planaridade, levando a uma medição incorreta e imprecisa. Este método também não propõe mudanças nas tolerâncias, sendo fortemente recomendada a revisão das mesmas. Destaca-se que a produção de peças com mais de 1000 mm com tolerâncias planares de 1,8 mm (0,18%) é praticamente inviável e pouco benéfica ao cliente.

NOTA 3: Espaçadores, pingos de esmalte e outras irregularidades dos lados devem ser ignorados ao realizar as medidas de comprimento, largura, retitude dos lados, ortogonalidade, se estes ficarem ocultos nas juntas após o assentamento (instalação).

2 Referências normativas

ISO 10545 - Placas Cerâmicas – Parte 2: Determinação das dimensões e qualidade superficial.

3 Termos e definições

3.1 Retitude dos lados

desvio da retitude do centro de um lado em relação ao plano da placa.

3.2 Desvio de ortogonalidade

medida do desvio da perpendicularidade de cada vértice da placa.

3.3 Medida da planaridade da superfície

medidas em três posições na superfície das placas.

NOTA: As placas que possuem relevo na superfície própria, impedindo a medição nessa superfície, devem, sempre que possível, serem medidas no verso.

3.3.1 Curvatura central

desvio do centro da placa em relação ao plano definido por três dos seus quatro vértices.

3.3.2 Curvatura lateral

desvio do centro de um lado da placa em relação ao plano definido por três dos seus quatro vértices.

3.3.3 empeno

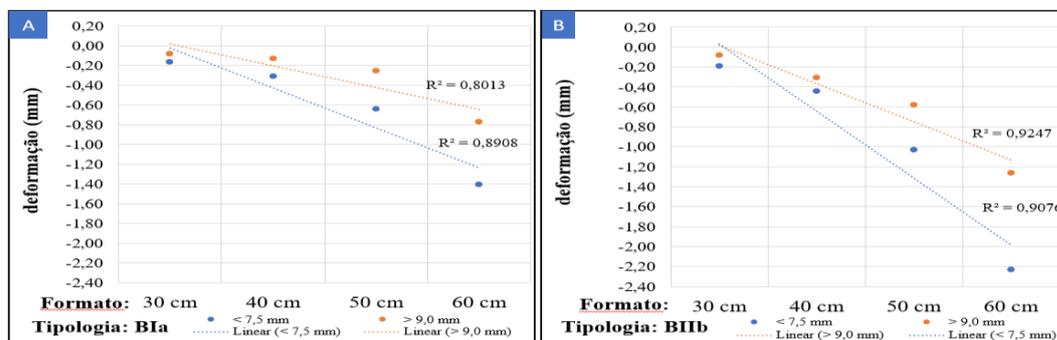
desvio do quarto vértice da placa em relação ao plano definido pelos outros três vértices .

4 Justificativa para o método

Este manual propõe a medição das placas cerâmicas inclinadas utilizando uma máquina de medição por coordenadas. Isso se deve à falha do sistema de medição atual em considerar a deformação elástica das placas quando suspensas horizontalmente, comprometendo a precisão das medições. Ao inclinar as peças aumenta-se a sua secção transversal e reduz o efeito da gravidade mitigando os impactos da deformação nos resultados.

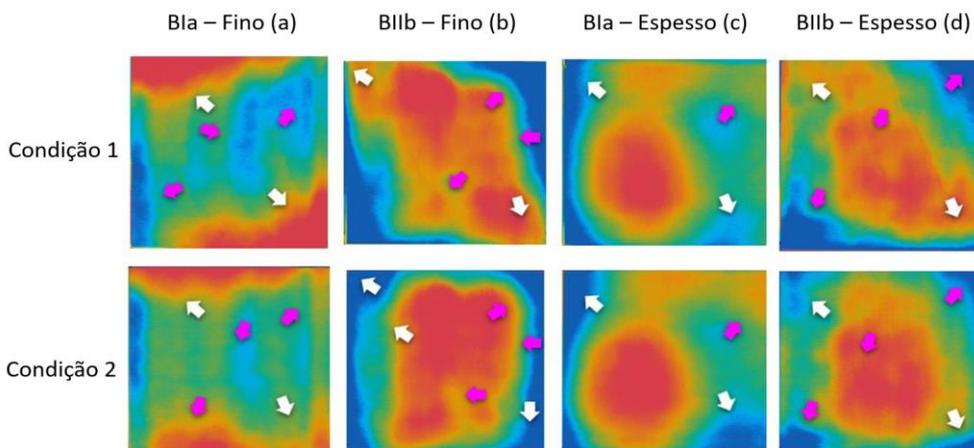
Com base em pesquisa científica, este manual derivou de uma dissertação de mestrado que investigou o impacto do formato, espessura e tipologia das placas cerâmicas nas deformações planares durante os testes normativos. Como demonstrado na Figura 1, todas essas variáveis influenciam a deformação.

Figura 1 - Deformação das placas sobre Tipologia formato e espessura



Para determinar as deformações elásticas o estudo considerou duas formas de apoio: peça na condição horizontal (1) e na condição inclinada a 83° (2), estas deformações podem ser melhor visualizadas na figura 2, que traz o mapa de cores quentes (amarelo ao vermelho) e frias (azul claro ao escuro) das placas formato 60 cm, na imagem podemos observar mudanças significativas de forma principalmente na peça BI Ib de baixa espessura (b).

Figura 2 - Mapa de cores para placas (60x60) cm



Dentro deste estudo foi conduzido uma análise comparativa para validar a aplicação do método descrito neste manual, esta avaliação utilizou com base a metodologia descrita na quarta edição do manual de referência de análise de sistema de medição (MSA) do *Automotive Industry Action Group* (AIAG), o resumo dos resultados estão apresentados na tabela 1, evidenciando que o método proposto (SMC) é capaz de reproduzir o sistema de medição atual (SMA).

Tabela 1 - Resumo do estudo comparativo

Características	Médias SMC (mm)	Médias SMA (mm)	Diferença (mm)	Desv.P. (mm)	R&R (%)	Limite de aceitação %RR
Tamanho	0,808	0,846	0,038	0,084	22	30*
Retitude lateral	0,294	0,239	0,054	0,076	24	30*
Ortogonalidade	0,178	0,165	0,013	0,097	17	20
Curvatura Central	-0,019	-0,068	0,049	0,062	9	20
Curvatura Lateral	-0,002	-0,078	0,075	0,095	14	20
Empeno	0,069	0,087	0,018	0,114	16	20

* Utilizado 30% devido a tolerância muito restritiva para a característica.

O estudo completo pode ver acessado pelo repositório da UFSCar. Ficha Catalográfica:

Dores Silva, Fernando das
Desenvolvimento de um processo de medição dimensionais para placas cerâmicas de grande formato / Fernando das Dores Silva - 2023. 110f.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos.
Orientador (a): Pedro Carlos Oprime
Banca Examinadora: Pedro Carlos Oprime, Juliano Endrigo Sordan, Eduardo Quintero
Bibliografia
1. Análise de sistema de medição. 2. Medição por coordenadas. 3. Placas cerâmicas de grande formato. I. Silva, Fernando das Dores. II. Título.

5 Aparelhagem

Painel para apoio e fixação das peças, inclinado a $(83\pm 3)^\circ$, com estrutura robusta para garantir estabilidade durante as medições. O painel consiste em três colunas com pontos de apoio ajustáveis, uma barra de reforço central e fixação ao solo.

Máquina de medição por coordenadas, com resolução de 0,001 mm capaz de medir placas cerâmicas inclinadas a $(83\pm 3)^\circ$ e com capacidade volumétrica adequada ao formato que se pretende medir.

NOTA: Outros equipamentos de medição por coordenadas com ou sem contato podem ser utilizados, desde que consigam replicar o procedimento de medição.

Software de medição, compatível com a máquina de medição por coordenadas selecionada e que seja capaz de construir o programa de medição descrito neste procedimento.

6 Corpos de prova

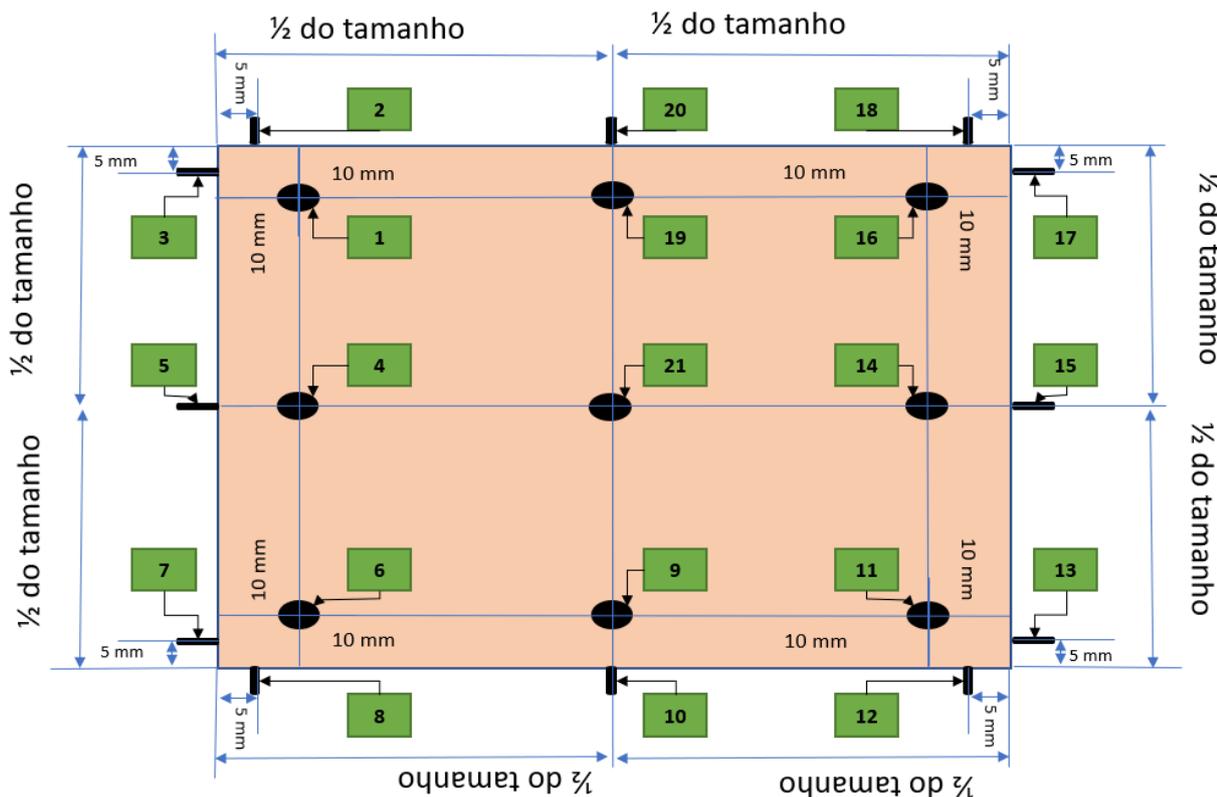
Cinco placas inteiras, sem danos, devem ser coletadas ao acaso do lote que se pretende avaliar.

Nota: A amostragem segue o padrão definido pela ISO 10545-2.

7 Construção do procedimento de medição

No programa de medição deve-se criar uma rotina de medição com 21 pontos, que serão correlacionados para extração das medições. A Figura 3 ilustra os 21 pontos, onde as leituras devem ser realizadas.

Figura 3 - Pontos de coleta



7.1 Extração dos dados do primeiro alinhamento

Criar os elementos de referência para o alinhamento:

- a. Criar uma linha X1 com os pontos 3 e 7.
- b. Criar uma linha Y1 com os pontos 2 e 18.
- c. Criar um plano Z1 com os pontos 1, 6 e 16.
- d. Criar um ponto de interseção entre as linhas X1 e Y1 e nomeá-lo como "Origem 1".

Estabelecer o alinhamento pela configuração plano-linha-ponto, utilizando o plano Z1 em plano Z+, a linha X1 em linha X+ e o ponto "Origem 1" em ponto. Nomear este alinhamento com "Alinhamento 1".

Criar uma pasta no programa e ativar o alinhamento 1 dentro desta pasta, em seguida deve-se extrair as características dimensionais da peça dentro desta pasta, mantendo o alinhamento 1 ativo para todas as características.

7.1.1 Tamanho

Utilizando a ferramenta “comprimento”, determinar pelo afastamento no eixo X dos pontos 2 e 8, nomear como “Tamanho 1”.

NOTA: Se forem utilizados pontos sem compensação, deve-se descontar o diâmetro da esfera do valor final.

7.1.2 Retitude lateral

Replicar o ponto 20 e nomear como “Retitude lateral 1”, considerar o desvio do ponto no eixo X.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ponto está à esquerda da linha e negativo quando está à direita. Sendo necessário inverter o sinal obtido pelo programa.

7.1.3 Ortogonalidade

Utilizar a ferramenta do GD&T e extrair a perpendicularidade e o ângulo entre a linha X1 e a linha Y1 (Datum). Nomear como “Ortogonalidade 1” e “Ângulo 1”.

A função do ângulo é só definir se o valor é negativo ou positivo.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ângulo formado é maior que 90° e negativo quando é menor que 90°.

7.1.4 Características planares

Curvatura central, replicar o ponto 21 e nomear como “Curvatura central 1”, considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Empeno, replicar o ponto 11 e nomear como “Empeno 1”, considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Curvatura lateral, replicar o ponto 19 e nomear como “Curvatura lateral 1”, considerar o desvio do ponto no eixo Z.

NOTA: Para as 3 características planares o sinal é considerado positivo quando o ponto da superfície da placa está acima do plano de referência e negativo quando está abaixo.

7.2 Extração dos dados do segundo alinhamento

Criar os elementos de referência para o alinhamento:

- a. Criar uma linha X2 com os pontos 8 e 12.
- b. Criar uma linha Y2 com os pontos 7 e 3.
- c. Criar um plano Z2 com os pontos 1, 6 e 11.
- d. Criar um ponto de interseção entre as linhas X2 e Y2 e nomeá-lo como "Origem 2".

Estabelecer o alinhamento pela configuração plano-linha-ponto, utilizando o plano Z2 em plano Z+, a linha X2 em linha X+ e o ponto "Origem 2" em ponto. Nomear este alinhamento com “Alinhamento 2”.

Criar uma pasta no programa e ativar o alinhamento 2 dentro desta pasta, em seguida deve-se extrair as características dimensionais da peça dentro desta pasta, mantendo o alinhamento 2 ativo para todas as características.

7.2.1 Tamanho

Utilizando a ferramenta “comprimento”, determinar pelo afastamento no eixo X dos pontos 7 e 13, nomear como “Tamanho 2”.

NOTA: Se forem utilizados pontos sem compensação, deve-se descontar o diâmetro da esfera do valor final.

7.2.2 Retitude lateral

Replicar o ponto 5 e nomear como “Retitude lateral 2”, considerar o desvio do ponto no eixo X.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ponto está à esquerda da linha e negativo quando está à direita. Sendo necessário inverter o sinal obtido pelo programa.

7.1.3 Ortogonalidade

Utilizar a ferramenta do GD&T e extrair a perpendicularidade e o ângulo entre a linha X2 e a linha Y2 (Datum). Nomear como “Ortogonalidade 2” e “Ângulo 2”.

A função do ângulo é só definir se o valor é negativo ou positivo.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ângulo formado é maior que 90° e negativo quando é menor que 90°.

7.1.4 Características planares

Curvatura central, replicar o ponto 21 e nomear como “Curvatura central 2”, considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Empeno, replicar o ponto 16 e nomear como “Empeno 2”, considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Curvatura lateral, replicar o ponto 4 e nomear como “Curvatura lateral 2”, considerar o desvio do ponto no eixo Z.

NOTA: Para as 3 características planares o sinal é considerado positivo quando o ponto da superfície da placa está acima do plano de referência e negativo quando está abaixo.

7.3 Extração dos dados do terceiro alinhamento

Criar os elementos de referência para o alinhamento:

- Criar uma linha X3 com os pontos 13 e 17.
- Criar uma linha Y3 com os pontos 12 e 8.
- Criar um plano Z3 com os pontos 6, 11 e 16.
- Criar um ponto de interseção entre as linhas X3 e Y3 e nomeá-lo como "Origem 3".

Estabelecer o alinhamento pela configuração plano-linha-ponto, utilizando o plano Z3 em plano Z+, a linha X3 em linha X+ e o ponto "Origem 3" em ponto. Nomear este alinhamento com "Alinhamento 3".

Criar uma pasta no programa e ativar o alinhamento 3 dentro desta pasta, em seguida deve-se extrair as características dimensionais da peça dentro desta pasta, mantendo o alinhamento 3 ativo para todas as características.

7.3.1 Tamanho

Utilizando a ferramenta "comprimento", determinar pelo afastamento no eixo X dos pontos 12 e 18, nomear como "Tamanho 3".

NOTA: Se forem utilizados pontos sem compensação, deve-se descontar o diâmetro da esfera do valor final.

7.3.2 Retitude lateral

Replicar o ponto 10 e nomear como "Retitude lateral 3", considerar o desvio do ponto no eixo X.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ponto está à esquerda da linha e negativo quando está à direita. Sendo necessário inverter o sinal obtido pelo programa.

7.3.3 Ortogonalidade

Utilizar a ferramenta do GD&T e extrair a perpendicularidade e o ângulo entre a linha X3 e a linha Y3 (Datum). Nomear como "Ortogonalidade 3" e "Ângulo 3".

A função do ângulo é só definir se o valor é negativo ou positivo.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ângulo formado é maior que 90° e negativo quando é menor que 90° .

7.3.4 Características planares

Curvatura central, replicar o ponto 21 e nomear como "Curvatura central 3", considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Empeno, replicar o ponto 1 e nomear como "Empeno 3", considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Curvatura lateral, replicar o ponto 9 e nomear como "Curvatura lateral 3", considerar o desvio do ponto no eixo Z.

NOTA: Para as 3 características planares o sinal é considerado positivo quando o ponto da superfície da placa está acima do plano de referência e negativo quando está abaixo.

7.4 Extração dos dados do quarto alinhamento

Criar os elementos de referência para o alinhamento:

- Criar uma linha X4 com os pontos 18 e 2.
- Criar uma linha Y4 com os pontos 17 e 13.
- Criar um plano Z4 com os pontos 1, 11 e 16.
- Criar um ponto de interseção entre as linhas X4 e Y4 e nomeá-lo como "Origem 4".

Estabelecer o alinhamento pela configuração plano-linha-ponto, utilizando o plano Z4 em plano Z+, a linha X4 em linha X+ e o ponto "Origem 4" em ponto. Nomear este alinhamento com "Alinhamento 4".

Criar uma pasta no programa e ativar o alinhamento 4 dentro desta pasta, em seguida deve-se extrair as características dimensionais da peça dentro desta pasta, mantendo o alinhamento 4 ativo para todas as características.

7.4.1 Tamanho

Utilizando a ferramenta "comprimento", determinar pelo afastamento no eixo X dos pontos 3 e 17, nomear como "Tamanho 4".

NOTA: Se forem utilizados pontos sem compensação, deve-se descontar o diâmetro da esfera do valor final.

7.4.2 Retitude lateral

Replicar o ponto 15 e nomear como "Retitude lateral 4", considerar o desvio do ponto no eixo X.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ponto está à esquerda da linha e negativo quando está à direita. Sendo necessário inverter o sinal obtido pelo programa.

7.4.3 Ortogonalidade

Utilizar a ferramenta do GD&T e extrair a perpendicularidade e o ângulo entre a linha X4 e a linha Y4 (Datum). Nomear como "Ortogonalidade 4" e "Ângulo 4".

A função do ângulo é só definir se o valor é negativo ou positivo.

NOTA: O sinal é considerado positivo quando o ângulo formado é maior que 90° e negativo quando é menor que 90°.

7.4.4 Características planares

Curvatura central, replicar o ponto 21 e nomear como "Curvatura central 4", considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Empeno, replicar o ponto 6 e nomear como "Empeno 4", considerar o desvio do ponto no eixo Z.

Curvatura lateral, replicar o ponto 14 e nomear como "Curvatura lateral 4", considerar o desvio do ponto no eixo Z.

NOTA: Para as 3 características planares o sinal é considerado positivo quando o ponto da superfície da placa está acima do plano de referência e negativo quando está abaixo.

8 Procedimento de medição

Marcar as peças nas distâncias indicadas na Figura 3. Alternativamente, utilizar um laser ou outro sistema de identificação que garanta que os pontos sejam coletados nas distâncias indicadas.

Após a marcação, colocar a placa no painel de apoio e fixação, com a face de uso virada para cima. Excepcionalmente, se a placa possuir relevos mais agressivos do que os presentes na muratura, realizar as medições pelo tardo e inverter os sinais das características planares.

Ajustar as barras verticais de forma que os apoios das barras externas fiquem a 10 mm da borda e os apoios da barra central fiquem posicionados no meio do comprimento da peça. Os apoios individuais dos pontos devem ser ajustados para ficarem atrás dos pontos marcados.

Após ajustar as distâncias das barras e pontos de apoio, ajustar a altura dos pinos de apoio de forma que encostem na placa sem forçá-la, garantindo que a placa não se movimente durante a medição.

Com a máquina de medição por coordenadas, proceder à execução da rotina de medição e coletar os pontos em ordem crescente, seguindo a indicação da Figura 3.

Realizar a extração dos dados e tratamento dos sinais.

Repetir o procedimento nas demais placas da amostra, não sendo necessário realizar o ajuste das barras verticais, apenas o ajuste da altura dos apoios.

9 Expressão dos resultados

A expressão dos resultados segue a base da ISO 10545-2, garantindo assim o alinhamento entre os resultados obtidos pelo método normativo utilizando dataplúviômetro e o método descrito neste manual utilizando máquina de medição por coordenadas.

9.1 Tamanho

A dimensão média das placas quadradas é a média das quatro medidas. A dimensão média da amostra é a média das 20 medidas.

Para placas retangulares, cada par de lados paralelos da peça fornece uma dimensão média da peça, isto é, a média das duas medidas. A dimensão média de comprimento e largura da amostra é a média das 10 medidas.

9.2 Retitude lateral

A medida é relevante somente para os lados retos das placas (Figura 4) e é expressada como:

- desvio, C , em milímetros;
- a porcentagem, usando a fórmula.

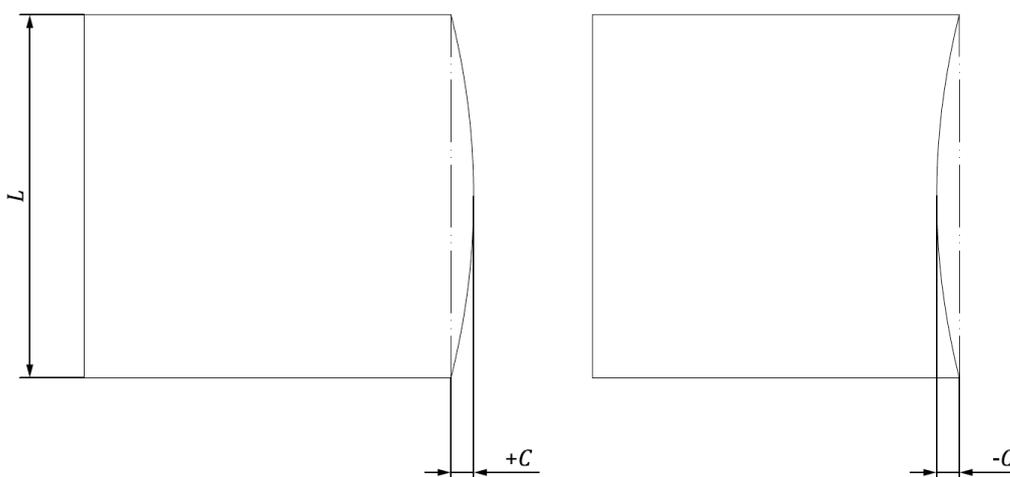
$$\frac{C}{L} \times 100$$

onde

C é o desvio da retitude no centro do lado medido;

L é o tamanho de fabricação do lado medido.

Figura 4 - Retitude dos lados



Fonte: ISO 10545-2 (2018)

9.3 Ortogonalidade

Desvio, δ , em milímetros para placas quadradas [ver Figura 5a)] e desvios, δ_L e δ_S , para placas retangulares [ver Figura 5b)];

– a porcentagem, usando a fórmula:

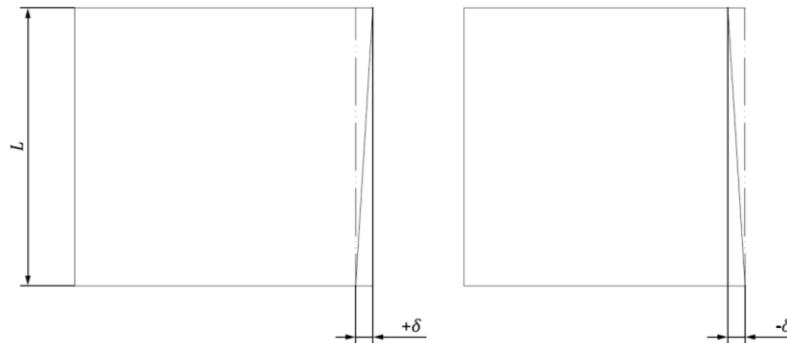
$$\frac{\delta}{L} \times 100 \text{ para placas quadradas, e } \frac{\delta_L}{S} \times 100 \text{ e } \frac{\delta_S}{L} \times 100 \text{ para placas retangulares}$$

onde

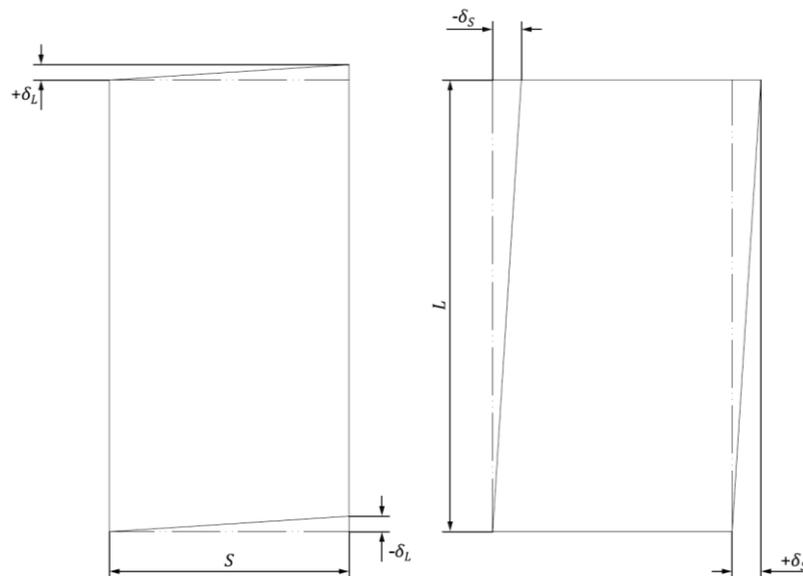
δ é o desvio do vértice externo do lado da placa (medido a 5 mm do vértice) em relação ao lado interno da placa-padrão; L e S são os tamanhos de fabricação dos lados (em milímetros) da placa para as Figuras 3 a) e b).

Para placas retangulares com relação entre lado maior e lado menor ≥ 3 , somente δ_L e o desvio percentual devem ser determinados [ver Figura 5b)].

Figura 5 – Ortogonalidade



Placas quadradas (a)



Placas retangulares (b)

Fonte: ISO 10545-2 (2018)

9.4 Planaridade da superfície (Curvaturas e empeno)

A curvatura central (Figura 6) é expressa em milímetros e como porcentagem usando a fórmula.

$$\frac{\Delta C}{D} \times 100$$

onde

ΔC é o desvio da curvatura no centro da diagonal medida;

D é o tamanho da diagonal calculada pelas dimensões de fabricação.

A curvatura lateral (Figura 7) é expressa em milímetros e como porcentagem usando a fórmula.

$$\frac{\Delta S}{D} \times 100$$

onde

ΔS é o desvio da curvatura no centro do lado medido;

L é o tamanho de fabricação do lado medido.

O Empeno (Figura 8) é expressa em milímetros e como porcentagem usando a fórmula.

$$\frac{\Delta W}{D} \times 100$$

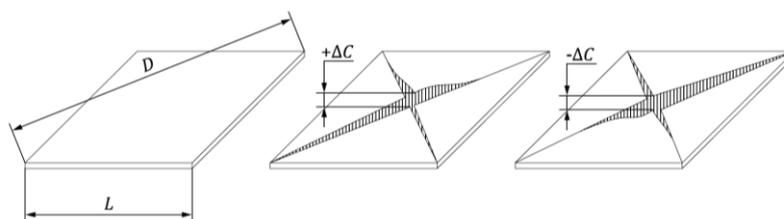
onde

ΔW é o desvio do empeno no centro da diagonal medida;

D é o tamanho da diagonal calculada pelas dimensões de fabricação.

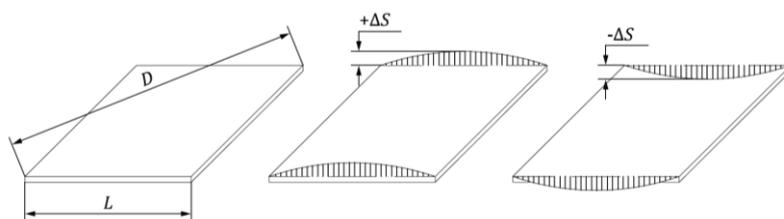
NOTA: Caso a placa apresente deformações também quando posicionada de forma inclinada, não é recomendável a determinação das características planares desse tipo de material. Isso ocorre porque a característica da peça é ser flexível e se ajustar ao substrato de instalação, tornando os desvios das características planares irrelevantes para a aplicação e uso do produto. Isso pode ser exemplificado pelos produtos conhecidos como lâminas, que possuem flexibilidade intencional.

Figura 6 - Curvatura Central



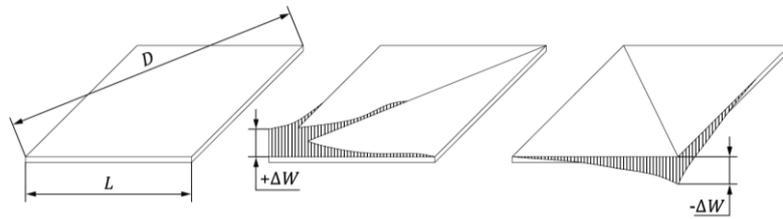
Fonte: ISO 10545-2 (2018)

Figura 7 - Curvatura lateral



Fonte: ISO 10545-2 (2018)

Figura 8 - Empeno



Fonte: ISO 10545-2 (2018)

10 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve incluir as seguintes informações:

- a) referência a este “Manual de execução UFSCar - Ensaio dimensional de placas cerâmicas, método: medição por coordenadas, fevereiro - 2024;
- b) descrição das placas;
- c) todas as medidas individuais do comprimento/largura, retitude dos lados, ortogonalidade, curvatura central, curvatura lateral e empeno;
- d) tamanho médio de cada corpo de prova e média da amostra para placas quadradas;
- e) tamanho médio de cada corpo de prova e média da amostra do comprimento e largura;
- f) desvio, em porcentagem e em milímetros, do tamanho médio de cada placa (dois ou quatro lados) em relação ao tamanho de fabricação;
- g) desvio máximo da retitude dos lados, em milímetros e em porcentagem, em relação à dimensão de trabalho correspondente.
- h) desvio máximo de ortogonalidade, em milímetros e em porcentagem, em relação às dimensões de fabricação correspondentes, exceto para placas retangulares com razão entre lado maior e lado menor ≥ 3 , apenas reportar δ_L e o desvio percentual e $\frac{\delta_L}{S}$ [ver Figura 5b)].
- i) máxima curvatura central, em milímetros e em porcentagem em relação à diagonal calculada a partir do tamanho de fabricação;
- j) máxima curvatura lateral, em milímetros e em porcentagem em relação ao tamanho de fabricação correspondente;
- k) máximo empeno, em milímetros e em porcentagem em relação à diagonal calculada a partir do tamanho de fabricação.