entib

Incerteza de medição

Expandindo e Combinando

AULA 04

REALIZAÇÃO

sociedade brasileira de metrologia

Sumário

Apresentação ... 3

Incerteza padrão ... 4

Divisor padrão: ... 6

Incerteza combinada u_c ... 7

Incerteza combinada expandida u_e ... 9

Fator de abrangência k ... 10

Graus de liberdade (ν) ... 15

Número de graus de liberdade efetivos ν_{eff} ... 20

Arredondamento da incerteza expandida ... 23

Apresentação

Olá! Seja muito bem-vindo à quarta aula do curso de Incerteza da Medição. Na última aula vimos que cada processo de medição pode apresentar uma série de fontes de incerteza, e que levá-las em consideração é fundamental para termos confiabilidade no resultado.

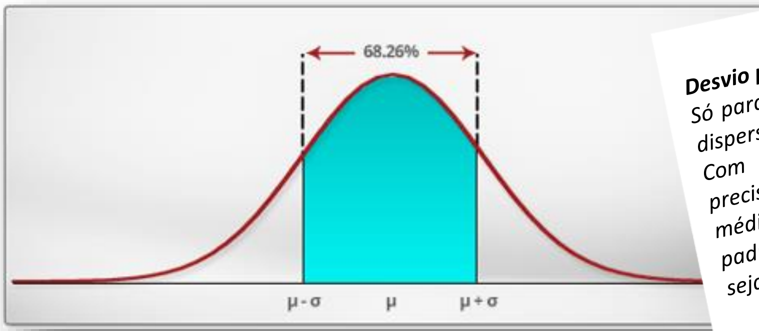
Na aula de hoje vamos aprender a combinar todas as incertezas de medição em uma só, veremos também que antes disso, devemos padronizar essas incertezas, de forma que todas elas possuam o mesmo grau de abrangência.

Ao final dessa aula, serão disponibilizados exercícios para fixação, lembre-se de fazê-los, pois assim você poderá verificar se realmente compreendeu o assunto trabalhado nessa aula.

Bons estudos!

Incerteza padrão

Incerteza padrão é a incerteza do resultado de uma medição expressa como **um desvio padrão** ***s***, com **grau de abrangência de 68,26%**.



Desvio padrão
Só para lembrar: O desvio padrão é a medida de dispersão mais importante para a Metrologia. Com essa medida, podemos ter uma noção precisa da variação dos valores em torno da média. Basicamente, quanto menor for o desvio padrão, menor será a dispersão dos valores, ou seja, maior será o grau de precisão dessa medida.

Sua fórmula é:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}-x_i)^2}{n-1}}$$

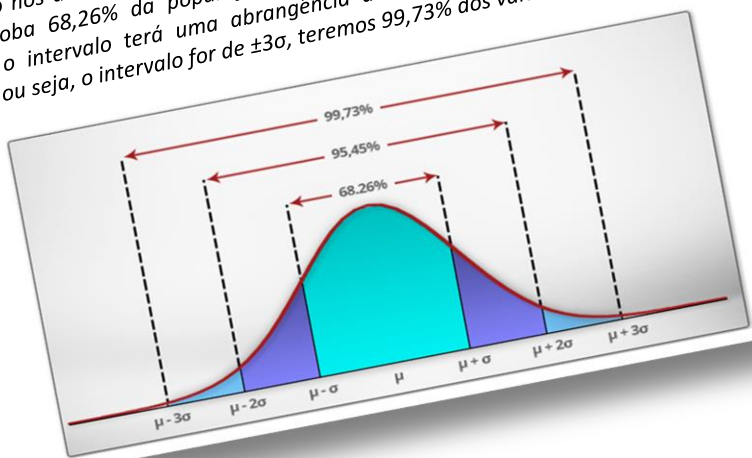
O grau de abrangência equivale ao percentual da área abaixo da curva de distribuição de probabilidade, o que significa dizer que a chance de um valor entre *μ–s* (média menos um desvio padrão) e *μ+s* (média mais um desvio padrão) é de 68,26%.

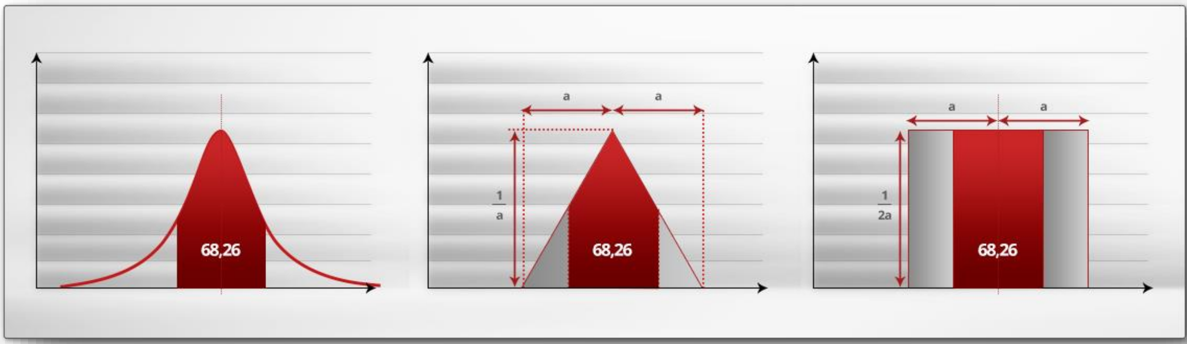
Não entendeu?
Então imagine o seguinte:

Se tivermos várias fontes de incerteza e cada uma delas estiver com seu fator de abrangência, ou seja, uma com **um desvio**, outras com **dois desvios**, e assim por diante, ao padronizarmos essas incertezas, saberemos que o valor de cada uma delas levou em consideração **um desvio padrão** para ser calculado. E quando dizemos que estamos levando em consideração **um desvio padrão** significa dizer que a chance desse resultado estar correto é de 68,26%.

Para ficar mais claro, vamos relembrar um pouquinho da aula 02... Partindo-se da média, ao nos deslocarmos ***um desvio****, para mais e para menos, temos um intervalo que engloba 68,26% da população de valores possíveis. Se nos deslocarmos dois desvios, o intervalo terá uma abrangência de 95,45%, e se nos deslocarmos três desvios, ou seja, o intervalo for de ±3σ, teremos 99,73% dos valores próximos à média.*

Ficou mais claro?
Observe os gráficos:





Para a estimativa da incerteza final, todas as componentes de incerteza (u_i), tipos A e B, devem ser expressas por um desvio padrão. Assim sendo:

Incerteza padronizada do tipo A será dada por:

$$\mathrm{U_{tipoA}} = \pm \frac{\mathrm{s}}{\sqrt{\mathrm{n}}} (t\ Student)$$

Onde s é o desvio padrão amostral e n é o tamanho da amostra.

Incertezas padronizadas do tipo B serão dadas por:

- Incerteza herdada do certificado de calibração:

$$\mathrm{U_{tipoB}} = \pm \frac{u_i}{k} (certificado)$$

Onde u_i é a incerteza fornecida pelo certificado de calibração do equipamento, e k é o fator de abrangência, também indicado no certificado.

- Incerteza de resolução de um equipamento com escala digital:

$$\mathrm{U_{tipoB}} = \pm \frac{\mathrm{a}}{\sqrt{3}} (uniforme) \quad \mathrm{e} \quad \mathrm{a} = \frac{R}{2}$$

Onde a equivale à metade da resolução (R) do equipamento de medição.

- Incerteza de resolução de um equipamento com escala analógica:

$$\mathrm{U_{tipoB}} = \pm \frac{\mathrm{a}}{\sqrt{6}}\ (triangular), \text{onde a} = \frac{R}{2}$$

Onde a equivale à metade da resolução (R) do equipamento de medição.

Observação importante:

Divisor padrão: Se você notar nas fórmulas acima, sempre que quisermos obter uma incerteza padrão, não importa o tipo, teremos que realizar uma divisão. Por esse motivo, muitos autores dão destaque ao divisor, denominando-o de **divisor padrão**, ou seja, o número pelo qual a incerteza deve ser dividida para se obter a incerteza padrão. Portanto, anote aí o divisor padrão de cada tipo de incerteza:

Incerteza	Divisor Padrão
Tipo A	$\sqrt{n}$
Tipo B – certificado de calibração	k
Tipo B – uniforme (escala digital)	$\sqrt{3}$
Tipo B – triangular (escala analógica)	$\sqrt{6}$

Bom, voltando a incerteza padrão, veja um exemplo:

Com o objetivo de calcular a incerteza de medição da massa de uma amostra, um técnico lista em uma tabela, todas as fontes de incerteza por ele detectadas, com seus respectivos valores e distribuições de probabilidade.

Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Incerteza padrão
Desvio padrão da média (5 medições)	10g	t-Student	$U_{desvio} = \pm \frac{10}{\sqrt{5}}$
Certificado de calibração da balança	8g	Normal, k=2	$U_{certificado} = \pm \frac{8}{2}$
Resolução da balança (escala digital)	1g	Retangular	$U_{resolução} = \pm \frac{1}{2\sqrt{3}}$

Certo, mas o que fazer com esses números todos?
Acompanhe o raciocínio...

Incerteza combinada u_c

Uma vez que todas as fontes de incerteza foram quantificadas e padronizadas, é possível combinar os seus valores em um único fator que descreverá, de forma simples e condensada, a incerteza associada a todo o processo de medição. A esse fator único damos o nome de **incerteza padrão combinada**, ou apenas **incerteza combinada**.

A incerteza padrão combinada é determinada por meio da raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas padrão, ou seja:

$$u_c = \pm\sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2 + u_d^2 + \cdots + u_n^2}$$

Onde u_a, u_b, u_c ... u_n são as incertezas padrão das n fontes de incerteza.

Quer ver como aplicar a fórmula em um exemplo?

Então acompanhe a seguir!

Maria realizou o estudo das incertezas associadas à medição da massa das frutas que vem em seu minimercado. Nesse estudo ela encontrou três fontes principais de incerteza: o desvio padrão das medições de massa, a resolução da balança, e o efeito da variação de temperatura.

Fonte de incerteza	Tipo de incerteza	Valor da incerteza padrão
Desvio padrão	Tipo A	$u_d=\pm 2g$
Resolução da balança	Tipo B	$u_r=\pm 3g$
Variação de temperatura	Tipo B	$u_T=\pm 4g$

Agora Maria quer combinar esses valores de incerteza em uma incerteza combinada, então ela faz o cálculo utilizando a fórmula da incerteza padrão combinada que é: $u_c = \pm\sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2 + u_d^2 + \cdots + u_n^2}$, assim ela obtém o seguinte:

$$u_c = \pm\sqrt{u_d^2 + u_r^2 + u_T^2}$$

$$u_c = \pm\sqrt{2^2 + 3^2 + 4^2} = \pm 5{,}4\ \mathrm{g}$$

Agora imagine o seguinte:

Um estagiário de um laboratório de metrologia recebeu de um superior a tarefa de obter a incerteza combinada de uma medição de dureza Vickers (HV). Para isso ele recebeu as informações de acordo com a seguinte tabela:

Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Incerteza padrão
Desvio padrão (7 medições)	5 HV	t-Student	?
Certificado de calibração	4,2 HV	Normal (k=2,1)	?
Resolução (escala analógica)	0,5 HV	Triangular	?
Erro aleatório	1,5 HV	Retangular	?
Incerteza Combinada			?

Você saberia completar a tabela?

Vejamos...

Primeiro devemos calcular a incerteza padrão para cada uma das fontes de incerteza.
Como vimos anteriormente, as fórmulas para o cálculo da incerteza padrão são as seguintes:

$$\mathrm{u_{tipoA}} = \pm \frac{\mathrm{s}}{\sqrt{\mathrm{n}}} (t\ Student)$$

$$\mathrm{u_{tipoB}} = \pm \frac{u_i}{k} (normal)\ ;\ \ \mathrm{u_{tipoB}} = \pm \frac{\mathrm{a}}{\sqrt{3}} (retangular)\ ; \mathrm{u_{tipoB}} = \pm \frac{\mathrm{a}}{\sqrt{6}}\ (triangular)$$

Assim teremos:

Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Incerteza padrão
Desvio padrão (7 medições)	5 HV	t-Student	$\frac{5}{\sqrt{7}} = 1{,}89$
Certificado de calibração	4,2 HV	Normal (k=2,1)	$\frac{4{,}2}{2{,}1} = 2{,}00$
Resolução (escala analógica)	0,5 HV	Triangular	$\frac{0{,}5}{2\sqrt{6}} = 0{,}10$
Erro aleatório	1,5 HV	Retangular	$\frac{1{,}5}{\sqrt{3}} = 0{,}87$
Incerteza Combinada			?

Agora temos que combinar as incertezas padrão...
Então vamos aplicar a fórmula da incerteza combinada novamente:

$$u_c = \pm\sqrt{(1{,}89)^2 + (2{,}00)^2 + (0{,}10)^2 + (0{,}87)^2} = \pm 2{,}89 \text{ HV}$$

Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Incerteza padrão
Desvio padrão (7 medições)	5 HV	t-Student	±1,89 HV
Certificado de calibração	4,2 HV	Normal (k=2,1)	±2,00 HV
Resolução (escala analógica)	0,5 HV	Triangular	±0,10 HV
Erro aleatório	1,5 HV	Retangular	±0,87 HV
Incerteza Combinada			±2,89 HV

E agora podemos completar a tabela com as informações que encontramos.
Interessante, não é?
Mas continuando...

Incerteza combinada expandida u_e

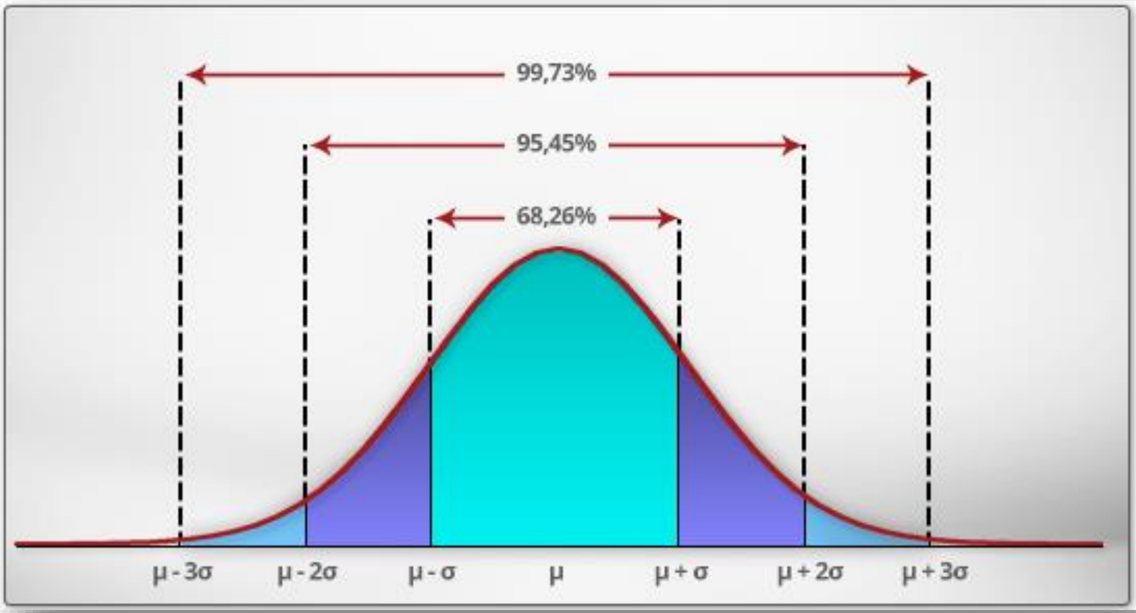
Embora a incerteza combinada u_c possa ser universalmente utilizada para expressar a incerteza de um resultado de medição, frequentemente é necessário apresentar uma medida de incerteza que defina um intervalo sobre o resultado de uma medição. Neste caso, a incerteza compreende uma fração da distribuição dos valores, que podem ser razoavelmente atribuídos para um mensurando e essa fração é denominada de Incerteza Expandida U_e.

Como você deve estar lembrado, no início da aula, quando padronizamos as fontes de incerteza nós as ajustamos para um grau de abrangência de um desvio padrão.

Você lembra o que isso significa?

Para qualquer fonte de incerteza, seja lá a distribuição de probabilidade que ela apresentar, usar abrangência de **um desvio padrão** significa que a probabilidade de acerto na nossa estimativa de incerteza é de 68,26%, um pouco mais que duas chances em três.

Contudo, a abrangência de um único desvio padrão é pequena para os padrões metrológicos. Para entender melhor, observe a curva normal que vimos na aula 02:



Basicamente, quanto maior for a abrangência, maior será a área abaixo da curva, ou seja, nossa estimativa se aproxima da totalidade dos resultados. Por esse motivo usamos o chamado **fator de abrangência**, que nada mais é do que o número pelo qual multiplicamos o desvio padrão para aumentar a abrangência, ou seja, melhorar a estimativa de uma medição.

Entendido?
Então vamos adiante...

Fator de abrangência k

O fator de abrangência k é o número pelo qual uma incerteza padrão combinada é multiplicada para se obter uma incerteza de medição expandida.

O valor desse fator é escolhido com base no nível de confiança requerido para o intervalo.

Não entendeu?

Então veja um exemplo:

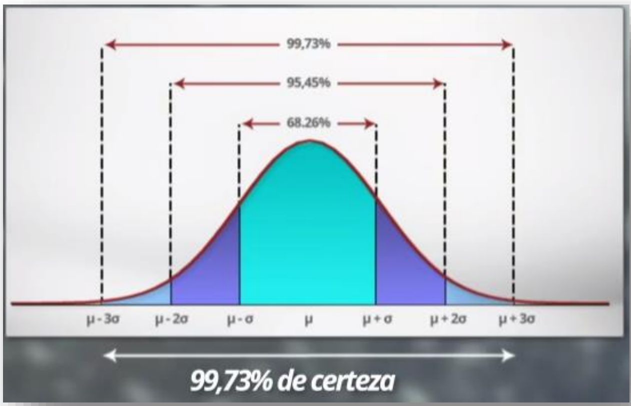
Então vamos começar fazendo uma analogia...

Imagine que você saia de casa, em um dia de chuva, com um guarda-chuvas bem pequeno... A chance de você não se molhar seria pequena, não é?

Mas e se você aumentar o tamanho desse guarda-chuvas, sua possibilidade de sair seco aumentaria?

E se você aumentar mais um pouquinho esse guarda-chuvas... Suas chances de não se molhar aumentariam um pouco mais, não é?

Pois é, o fator de abrangência **k** funciona mais ou menos da mesma forma...
Imagine o seguinte:



Se usarmos um fator de dois desvios padrão ao invés de um, saltaremos de 68,26% para 95,45% de abrangência. Ou seja, nossas chances de acertar aumentam em mais de 27%... E a incerteza diminui na mesma proporção...

Se formos para três desvios, chegaremos a 99,73% de abrangência,
Mas o que isso significa?

Significa que temos 99,73% de certeza que o resultado da medição estará dentro desse intervalo.

Veja só como isso funciona na prática:

Suponha que a média da sua **medição (M) vale 50** e o **desvio padrão vale 5**.

Se nosso fator de abrangência for de **um desvio** padrão, teremos o seguinte:

M = 50 ± 5, com 68,26% de confiança, ou seja, temos **68,26% de certeza** que o valor correto da medição está **entre 45 e 55**.

Mas se o fator de abrangência for de **dois desvios** padrão isso muda... Aí teremos:

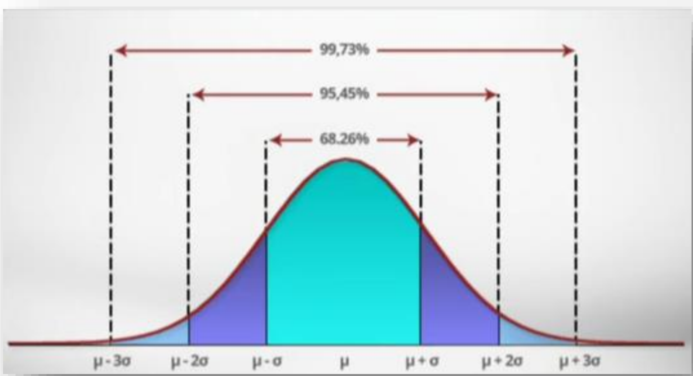
M = 50 ± 10, com **95,45% de confiança**, ou seja, temos **95,45% de certeza** que o valor correto da medição está **entre 40 e 60**.

E para fator de abrangência de **três desvios** padrão:

M = 50 ± 15, com **99,73% de confiança**, ou seja, temos **99,73% de certeza** que o valor correto da medição está **entre 35 e 65**.

Isso significa que:

Um desvio nos dá certeza de **68,26%** de que o resultado está correto;
Dois desvios nos dá **95,45%** de certeza;
Já **três desvios**, nos dá **99,73%** de certeza...



Assim estamos expandindo a incerteza...

Estamos aumentando seu valor propositalmente para que tenhamos o máximo de acerto em nossa estimativa.

E é daí que surge o conceito de incerteza combinada expandida, ou somente incerteza expandida.

Agora vamos voltar à nossa analogia...
Imagine que você resolva comprar um guarda-chuvas e, na loja, tenha três opções de tamanho...

A primeira opção custa apenas R$ 10,00, contudo o guarda-chuvas é meio pequeno...

O segundo custa R$ 20,00, mas já é bem maior do que a opção anterior...

E o terceiro custa R$ 30,00, mas é apenas um pouquinho maior do que o anterior e custa R$ 10,00 a mais...

O fator de abrangência K funciona da mesma forma...

Quando utilizamos o fator **k = 1**, é como se tivéssemos escolhido o guarda-chuvas pequeno. Ele é o mais barato, mas oferece apenas **68,26%** de proteção contra a chuva.

Já quando utilizamos o fator **k = 2**, é como se escolhêssemos o guarda-chuvas do meio. Ele custa um pouco mais do que o primeiro, mas sua proteção é de **95,45%.**

Agora, quando utilizamos o **k = 3**, seria como se tivéssemos optado pelo maior de todos os guarda-chuvas, ou seja, **99,73%** de proteção.

Mas observe que ele apesar de custar 50% a mais que o guarda-chuvas médio, sua a proteção aumenta em apenas 4,28%.

Por esse motivo, na maioria das vezes, é economicamente mais viável usar **k = 2** ao invés de **k = 3**.

95,45% de confiança, já é um percentual bastante aceitável...

Mas lembre-se, essa escolha sempre depende do nível de confiança que você deseja para o seu resultado.

Bom, agora que você já entendeu a lógica do fator de abrangência k, vamos voltar ao seu conceito...

Como vimos há pouco, o fator de abrangência ***k*** é o número pelo qual uma incerteza padrão combinada u_c é multiplicada para se obter uma incerteza de medição expandida ***u***.

A equação fica da seguinte forma:

$$u_e = \pm k \times u_c$$

O fator de abrangência k deve sempre ser declarado de forma que a incerteza padrão (para um desvio padrão) da grandeza medida possa ser recuperada para uso no cálculo da incerteza padrão combinada de outros resultados de medição, que dependem eventualmente desta grandeza.

Como vimos acima, quanto maior for o fator de abrangência, k, maior é a confiança associada à medição.

Então por que não usamos sempre o valor de 3, já que a confiança é maior? Porque, na maioria dos casos, uma confiança de 95,45% já é aceitável.

Reflita comigo, se elevarmos o valor de k, de 2 para 3, o "**custo**" associado à medição aumenta em 50%, só que, no entanto, o grau de confiança aumenta apenas 4,28%.

Custo
Aqui o conceito de custo é um pouco diferente ao que você está habituado. Quando falamos que o custo de uma medição aumentaria significa que eu vou declarar uma incerteza maior, ou seja, vou estar emitindo um resultado de medição com um valor de incerteza muito maior do que ele realmente é. É o mesmo que você abrir mão de parte do seu salário porque você não tem certeza de que você cumpriu com 100% (ou 99,9%) de todas as tarefas que você tinha para aquele mês.

Veja a tabela com os valores de k para cada nível de confiança.

Graus de Liberdade v	Nível de confiança										
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99,50%	99,80%	99,90%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	0,858	1,06	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787	3,078	3,45	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,69
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,31	1,697	2,042	2,457	2,75	3,03	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,05	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2	2,39	2,66	2,915	3,232	3,46
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,99	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,29	1,66	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,39
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,98	2,358	2,617	2,86	3,16	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576	2,807	3,09	3,291

Problema!

Como você sabe, dificilmente temos acesso ao total de valores de uma população, e por isso trabalhamos com amostras. O fator de abrangência **k** que acabamos de ver só é válido se tivermos uma curva normal em mãos, ou seja, quando estivermos trabalhando com uma população e não com uma amostra.

E agora, como faremos?

Mais uma vez a matemática irá nos ajudar, ou seja, hora de mais cálculos! Então arregace as mangas que é hora de fazer a calculadora trabalhar.

Vamos começar pelos Graus de liberdade (v) que vimos na tabela a cima.

Graus de liberdade (ν)

O número de Graus de liberdade ν, é o parâmetro que define a forma de uma curva de distribuição t-Student. A definição técnica desse conceito é um pouco complicada, mas o que importa aqui é sua aplicação prática e como ele pode ser usado para nos ajudar.

> **Graus de liberdade**
> Símbolo: letra grega **ν** (pronuncia-se "ni")

A primeira informação relevante é que o número de graus de liberdade de uma amostra é proporcional ao tamanho dessa amostra, relação essa que pode ser expressa pela equação abaixo:

$$\nu = n - 1$$

Onde n é o tamanho da amostra.

Outro ponto importante que você deve ter em mente é que o número de graus de liberdade não pode ser zero, ou seja, o tamanho mínimo da amostra deve ser dois (n=2).

E por último, mas não menos importante... Quanto maior for o número de graus de liberdade, mais semelhante a curva t-Student fica da curva normal, ou seja, mais representativa é a amostra.

Certo, estamos quase prontos para conseguir aplicar o conceito de graus de liberdade para obtermos o fator de abrangência. Mas antes, temos de ter em mente a relação que existe entre **fator de abrangência**, **graus de liberdade** e **nível de confiança** de uma medição.

Para isso veja a seguir:

Bom, para começar, sabemos que o número de graus de liberdade é igual ao... tamanho da amostra... menos um.

$$\nu = n - 1$$
$$n = 2$$
$$\nu = 2 - 1$$

Então se tivermos duas amostras, o número de graus de liberdade será...

Um. Certo?

Agora vejamos...
Se tivermos uma amostra de tamanho igual a 7 e quisermos um nível de confiança de 90% ao redor da média.
Qual fator de abrangência devemos usar?

Bom, vamos lá...

$$n = 7$$
então
$$7 - 1 = 6$$
$$\nu = 6$$

Se o tamanho da amostra é igual a 7e 7 menos 1 é igual a 6...
Isso significa que, aqui, o número de graus de liberdade é 6.

Certo?

Ok! Mas e o fator de abrangência?
Nesse caso, o fator de abrangência será igual à 1,943...

Mas como sabemos disso?
Simples... Esse valor é definido, de acordo com o com o nível de confiança e o número de graus de liberdade.
E para facilitar, foi criada uma tabela que traz, prontinha, a relação entre esses números.
Observe...

Graus de Liberdade v	Nível de confiança										
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99,50%	99,80%	99,90%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	0,858	1,06	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787	3,078	3,45	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,69
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,31	1,697	2,042	2,457	2,75	3,03	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,05	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2	2,39	2,66	2,915	3,232	3,46
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,99	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,29	1,66	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,39
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,98	2,358	2,617	2,86	3,16	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576	2,807	3,09	3,291

Viu como chegamos ao valor de k = 1,943?
Vamos ver se você entendeu?

Se aumentarmos o tamanho amostra para 16, e mantivermos o nível de confiança em 90% ao redor da média?

Como ficaria?
Então se o tamanho da amostra é 16... O número de graus de liberdade é 15.
Mas qual será o fator de abrangência, agora?

Vejamos:

Graus de Liberdade v	Nível de confiança									
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99,50%	99,80%	99,90%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819

Como você pode ver, o fator de abrangência que utilizaremos aqui, será de 1,753.
Agora vamos fazer uma experiência diferente...

Vamos deixar o tamanho da amostra com o mesmo valor, ou seja, 16...

Mas vamos aumentar o nível de confiança de 90% para 99,80%.
Será que o fator de abrangência será igual?

Vejamos...

Como o tamanho da amostra ainda é 16, logo o número de graus de liberdade continuará sendo 15.

Muito bem...
Localizou a linha v = 15 na tabela? Certo, mas agora vamos ir até a coluna do nível de confiança de 99,80%.

Encontrou?

Graus de Liberdade v	Nível de confiança									
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99,50%	99,80%	99,90%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819

Isso mesmo, nesse caso o valor de k é igual a 3,733.
Simples, não é?

Como você pôde ver existe uma relação direta entre o fator de abrangência, o número de graus de liberdade e o nível de confiança de uma medição...

Pois um parâmetro depende diretamente do outro...
Ficou mais claro agora?

Certo, então toda vez que mudarmos o tamanho da amostra e consequentemente, o número de graus de liberdade, teremos um valor diferente para o fator de abrangência?

A resposta é sim!

Além disso, veja o que acontece com o valor de k se mudarmos o nível de confiança requerido:

Tamanho da amostra	k, para 90%	k, para 95%	k, para 98%	k, para 98%
n = 7	1,943	2,447	3,143	3,707
n = 16	1,753	2,131	2,602	2,947
n = 31	1,697	2,042	2,457	2,750

Como você pode observar, cada tamanho de amostra terá sua curva de distribuição t-Student característica, com os valores de k característicos para cada nível de confiança. Por esse motivo, é que foi criada a tabela que relaciona o número de graus de liberdade com o nível de confiança e valor de k.

Veja novamente:

Graus de Liberdade v	Nível de confiança										
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99,50%	99,80%	99,90%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	0,858	1,06	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787	3,078	3,45	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,69
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,31	1,697	2,042	2,457	2,75	3,03	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,05	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2	2,39	2,66	2,915	3,232	3,46
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,99	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,29	1,66	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,39
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,98	2,358	2,617	2,86	3,16	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576	2,807	3,09	3,291

Certo, já sabemos identificar o número de graus de liberdade de uma distribuição t-Student, mas como fazemos para estimar os graus de liberdade das outras distribuições?

Aqui temos boas notícias...

Para a distribuição normal, retangular e triangular o número de graus de liberdade é infinito, ou seja, os valores de ***k*** poderão ser encontrados na última linha da tabela que acabamos de ver.

Essas distribuições são bem conhecidas, e o seu comportamento já foi muito estudado, como se o número de amostras fosse gigantesco, ou seja, tendendo ao infinito, e, como o número de graus de liberdade é proporcional ao tamanho da amostra, o número de graus de liberdade dessas distribuições é considerado infinito.

Agora que você já aprendeu a encontrar o número de graus de liberdade e fator de abrangência para cada tipo de fonte de incerteza, chegou a hora de saber estimar o número de graus de liberdade, com seu respectivo fator de abrangência, para a incerteza combinada.

Vamos ver como funciona?

Número de graus de liberdade efetivos v_{eff}

O número de graus de liberdade efetivos (**v_{eff}**) é o número de graus de liberdade associado à incerteza padrão combinada, **u_c**.

A relação matemática entre o número de graus de liberdade efetivos e a incerteza padrão combinada é dada pela equação de Welch-Satterthwaite, conforme você pode ver abaixo:

$$\frac{u_c^4}{v_{eff}} = \frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u}{v_2} + \cdots + \frac{u_i^4}{v_i}$$

Onde:

u_c é a incerteza padrão combinada.

u_1 , u_2 ... u_i são as incertezas padrão de cada uma das " *i* " fontes de incerteza (incertezas tipo A e tipo B).

$v_1, v_2, v_3 ... v_i$ são os números de graus de liberdade de cada uma das " *i* " fontes de incerteza.

V_{eff} é o número de graus de liberdade efetivo, associado à incerteza padrão combinada.

Uma vez que você dispõe dos valores das incertezas (**u_i**) e de seus graus de liberdade (**v_i**), você pode encontrar o valor da incerteza combinada pela fórmula que vimos anteriormente:

$$u_C = \pm\sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2 + u_d^2 + \cdots + u_n^2}$$

E o número de graus de liberdade será dado pela equação de Welch-Satterthwaite trabalhada algebricamente, que pode ser apresentada como:

$$v_{eff} = \frac{U_c^4}{\sum_{i=1}^{n} \frac{U_i^4}{v_i}}$$

Welch-Satterthwaite
Em estatísticas e análise de incerteza, a equação Welch-Satterthwaite é usada para calcular uma aproximação aos efetivos graus de liberdade de uma combinação linear de independentes variâncias amostrais.

Vamos ver como a equação de Welch-Satterthwaite pode ser aplicada?

Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Incerteza padrão	Graus de Liberdade
Desvio padrão (8 amostras)	0,52g	t-Student	$\frac{0,52}{\sqrt{8}} = 0,184\,g$	$8-1=7$
Certificado de calibração	0,68g	Normal (k=2,1)	$\frac{0,68}{2,1} = 0,324\,g$	infinitos
Resolução (escala digital)	0,01g	Uniforme	$\frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 0,0029\,g$	infinitos
Incerteza combinada			0,373g	V_{eff} =?
Fator de abrangência (95% de confiança)			?	

Exemplo: Jéssica quer descobrir o fator de abrangência que ela deve usar para expandir a incerteza combinada de sua medição de massa. Ela colocou todos os valores de incerteza individuais na tabela abaixo:

Aplicando a equação teremos:

$$v_{eff} = \frac{(0,373)^4}{\frac{0,184^4}{7} + \frac{0,324^4}{\infty} + \frac{0,0029^4}{\infty}}$$

Opa, temos uma divisão por infinito! E agora?

De acordo com a teoria dos limites, toda vez que dividimos um número qualquer por um valor absurdamente maior que ele, ou seja, que tende ao infinito, o resultado dessa divisão tende a ser um número muito pequeno, ou seja, zero.

Assim, teremos:

$$v_{eff} = \frac{(0,373)^4}{\frac{0,184^4}{7} + 0 + 0} = 117,7$$

Certo, encontramos o número de graus de liberdade efetivos... Mas o que devemos fazer com ele mesmo? Vamos ir até a tabela que relaciona o número de graus de liberdade, nível de confiança e fator de abrangência.

Observe:

Valores de K para cada nível de confiança											
Graus de Liberdade v	Nível de confiança										
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99,50%	99,80%	99,90%
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	0,858	1,06	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787	3,078	3,45	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,69
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,31	1,697	2,042	2,457	2,75	3,03	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,05	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2	2,39	2,66	2,915	3,232	3,46
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,99	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,29	1,66	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,39
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,98	2,358	2,617	2,86	3,16	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576	2,807	3,09	3,291

Jéssica quer um nível de confiança de **95%**, e nosso número de graus de liberdade é aproximadamente **120**, logo, o fator de abrangência que ela deverá usar será de **1,98.**

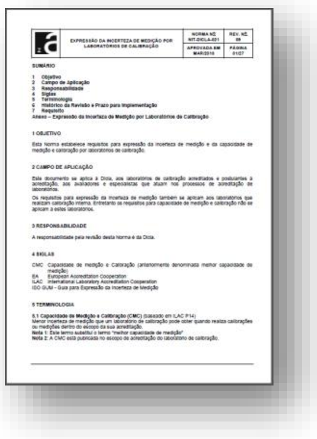
Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Incerteza padrão	Graus de Liberdade
Desvio padrão (8 amostras)	0,52g	t-Student	$\frac{0{,}52}{\sqrt{8}} = 0{,}184\,g$	$8-1=7$
Certificado de calibração	0,68g	Normal (k=2,1)	$\frac{0{,}68}{2{,}1} = 0{,}324\,g$	infinitos
Resolução (escala digital)	0,01g	Uniforme	$\frac{0{,}01}{2\sqrt{3}} = 0{,}0029\,g$	infinitos
Incerteza combinada			0,373g	$V_{eff} = 118$
Fator de abrangência (95% de confiança)			**0,739g**	

Agora vamos completar a tabela de incerteza de Jéssica:

Entendido?

Arredondamento da incerteza expandida

Segundo o documento de referência, Expressão da Incerteza de Medição na Calibração (*European Accreditation*) traduzido na norma Inmetro NIT- DICLA-021.



"*O valor numérico do resultado da medição, na declaração final, deve ser arredondado para o último algarismo significativo da incerteza expandida, atribuída ao resultado da medição.*"

Para o processo de arredondamento as regras usuais de arredondamento de números, constantes da norma ABNT-NBR 5891: 1977 devem ser utilizadas, porém:

"Se o arredondamento diminuir o valor da incerteza de medição em mais de 5%, recomenda-se que o arredondamento seja feito para cima."

Exemplo:

Incerteza expandida = ± 0,014mm

O arredondamento para 1 algarismo significativo na incerteza significa desprezar 0,004 mm. Vamos verificar quanto este valor representa da incerteza expandida.

$$\frac{0{,}004}{0{,}014} = 0{,}28 = 28\% > 5\%$$

Assim, o valor da incerteza expandida com 1 algarismo significativo será de ±0,02mm.

A aula de hoje termina por aqui...

Na próxima aula veremos como posso estimar a incerteza de medição de um resultado cuja unidade de medida é diferente das unidades das fontes de incerteza.

Lembre-se de realizar os exercícios de fixação e caso fique com alguma dúvida, acesse o fórum da aula 04 e converse com o tutor.