Experimento 1 – Medição única

versão 2s2018

OBJETIVOS

- Perceber que toda medição tem limitações associadas à leitura da escala do instrumento.
- Compreender que toda medição fornece um intervalo de valores possíveis, mesmo quando realizamos uma única medição, e descobrir como determinar esse intervalo.
- Aprender o conceito de incerteza associada à leitura do instrumento e como ela difere de um instrumento analógico vs. digital.
- Entender que a leitura de um instrumento analógico requer um julgamento pessoal por parte do operador.
- Explorar algumas fontes de incerteza associadas com a leitura de uma régua.
- Aprender a utilizar um paquímetro.

INTRODUÇÃO

O objetivo geral de se realizar medições na ciência é aumentar o nosso conhecimento a respeito de alguma grandeza física, a qual nos referimos como **mensurando**. Em algumas situações experimentais, você irá realizar um conjunto de medições repetidas e em outras, fará uma única medida. Independentemente de quantas medições realizar, você deve sempre se perguntar: "A partir dos meus dados, o que eu posso concluir a respeito do mensurando?"

Chamamos de **leitura** o valor que você observa e registra a partir do instrumento que está utilizando, seja ele analógico ou digital. No caso de um instrumento digital, o que você observa está mostrado no painel do instrumento. Já no caso de um instrumento analógico, você precisará fazer um julgamento ao ler a escala do instrumento. Deve-se ter sempre em mente que o seu objetivo não é apenas coletar dados, mas obter informação a respeito do mensurando. Uma **medição** é o processo inteiro de obtenção de informação a respeito do mensurando.

Ao fazer a leitura de um instrumento, três componentes devem ser reportados. Primeiro, a própria leitura do instrumento. Segundo, as unidades da medição. Terceiro, uma estimativa da *incerteza* associada à leitura do instrumento.

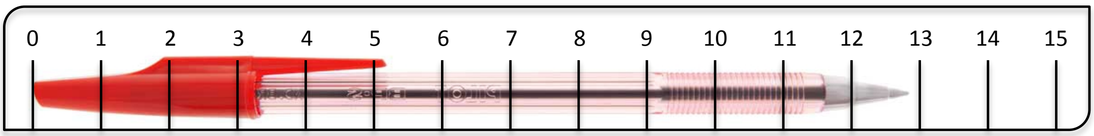
Você irá aqui investigar o procedimento de leitura de um instrumento. A primeira vista, pode parecer que ler um instrumento é uma tarefa trivial, mas na realidade há vários aspectos importantes que devem ser considerados ao se usar um instrumento de medição de maneira científica.

PARTE 1: ENTENDENDO A INCERTEZA DE LEITURA DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS E DIGITAIS

Iremos agora começar a desenvolver procedimentos para fazer e registrar medições científicas. Investigaremos medições feitas com duas classes de instrumentos: (a) analógico e (b) digital. Visamos principalmente entender as limitações destes instrumentos quando usados para fazer uma medição científica, principalmente aquelas limitações oriundas da resolução da escala do instrumento e associadas com a realização de uma única medição.

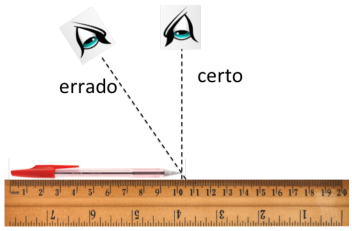
Atividade 1-1: Fazendo medições com um instrumento analógico

Utilizando-se da régua centimetrada (com menor divisão igual a 1 cm) disponível no laboratório, determine o comprimento de uma caneta esferográfica. Primeiro, alinhe a extremidade esquerda da caneta com o "zero" da régua como ilustrado abaixo.



1. Determine o comprimento da caneta. Estime o comprimento em frações de centímetros (por exemplo, 12,<u>8</u> cm) o melhor que puder. Cada membro do grupo deve fazer uma medição sem o auxílio ou influência dos demais.

Atenção: Com a caneta deitada sobre a mesa, procure minimizar o ângulo de observação, observando-a diretamente por cima, em linha reta.



Questão 1-1: Quais foram os valores encontrados? Após todos terem realizado a sua medição, anote os valores abaixo.

Aluno 1 – Comprimento da caneta: 1__,___ cm

Aluno 2 – Comprimento da caneta: 1__,___ cm

Aluno 3 – Comprimento da caneta: 1__,___ cm

Aluno 4 – Comprimento da caneta: 1__,___ cm

Comentário: Em qualquer medida, o último dígito é sempre o duvidoso, ou seja, aquele para o qual o operador do instrumento não tem nenhuma confiança a respeito e o obteve a partir de um "chute" (julgamento pessoal).

Questão 1-2: Todos os valores de comprimento obtidos acima são iguais? Se não são, qual você acha que é a principal razão para eles diferirem entre si?

2. Cada uma destas medidas representa a melhor estimativa para o comprimento da caneta feita pelo aluno. Você deve agora se perguntar quais são os valores mais próximos da melhor estimativa que definitivamente <u>não</u> são possíveis. Por exemplo, você pode decidir que a caneta não é menor do que 12,6 cm e não é maior do que 13,0 cm, de modo que o comprimento da caneta está compreendido entre 12,6 cm e 13,0 cm. Geralmente, procuramos determinar os valores limites de modo a termos um intervalo ***simétrico*** em torno da melhor estimativa.

Questão 1-3: Quais são os valores mais próximos da melhor estimativa que definitivamente <u>não</u> são possíveis como resultado da medição? Responda abaixo para os quatros casos anteriores.

Aluno 1 - Valor mais baixo:___________ cm Valor mais alto:___________ cm

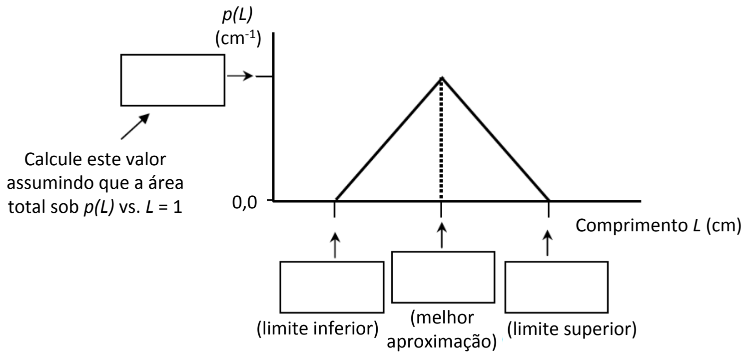
Aluno 2 - Valor mais baixo:___________ cm Valor mais alto:___________ cm

Aluno 3 - Valor mais baixo:___________ cm Valor mais alto:___________ cm

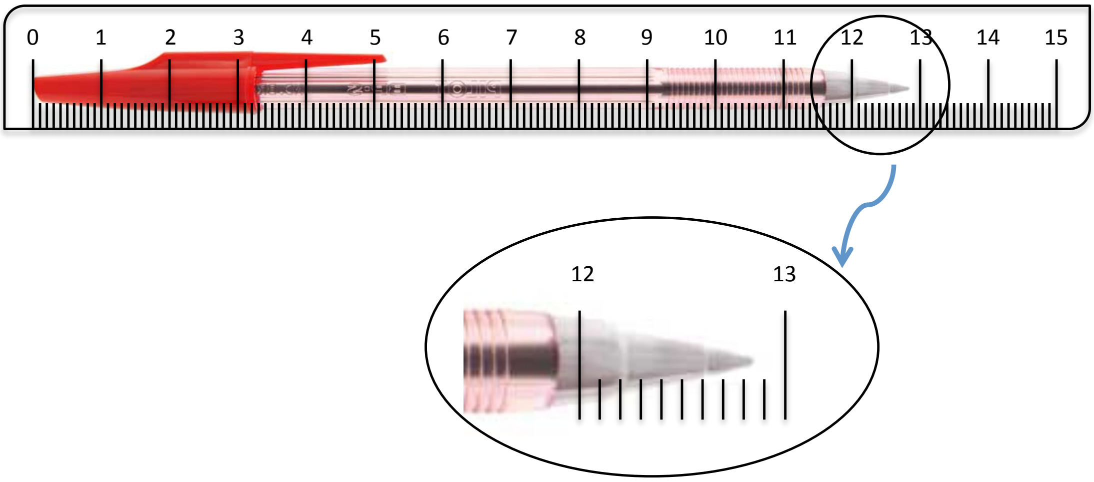
Aluno 4 - Valor mais baixo:___________ cm Valor mais alto:___________ cm

Comentário: O que podemos inferir a respeito de valores intermediários, compreendidos entre os valores impossíveis mais baixo e mais alto? A medida que você se afasta da sua melhor aproximação em direção a esses valores impossíveis, você passa a ter menos certeza a respeito do mensurando. Ou seja, a melhor aproximação é aquela que tem maior probabilidade de corresponder ao valor do mensurando, enquanto que os valores limites (mais baixo e mais alto) têm probabilidade nula. Uma das funções matemáticas mais simples que você pode usar para modelar a probabilidade associada ao conhecimento obtido através de uma medição analógica a respeito do mensurando é uma função triangular. Porém, esta escolha da função matemática é relativamente arbitrária. Por exemplo, uma régua de madeira que tem pior qualidade e é menos confiável que uma régua metálica, é melhor descrita por uma função retangular, enquanto que a metálica é melhor descrita pela função triangular.

3. Preencha os quatro campos na figura abaixo. Faça uma figura similar para a medição de cada aluno do grupo.



Uma maneira de reduzir a dispersão entre os valores encontrados no item (1), assim como reduzir os limites inferior e superior da Questão 1-3, é calibrar a escala da régua usando uma graduação menor. Na régua abaixo, cada divisão da régua original foi dividida em 10 partes, de modo a criar uma régua milimetrada.



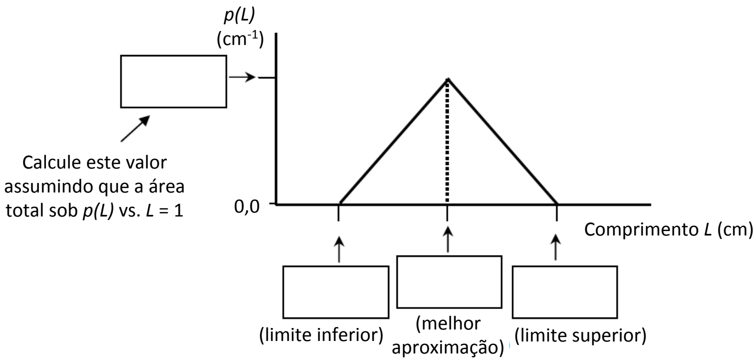
4. Utilizando-se de uma régua milimetrada, meça novamente o comprimento da caneta, estimando frações de milímetro (por exemplo, 12,<u>85</u> cm) o melhor que puder. Cada membro do grupo deve fazer uma medição sem o auxílio dos demais.

> **Sugestão:** Talvez ajude nessa medição se você tirar uma foto da régua e caneta com seu "smartphone" e ampliar a região de interesse da foto. Mas tome cuidado para tirar a foto de cima para baixo em linha reta, sem angulação significativa entre a caneta e a câmera.

Questão 1-4: Quais foram os valores encontrados? Após todos terem realizado a sua medição, anotem os valores abaixo.

Aluno	Comprimento da caneta (cm)	Valor impossível mais baixo (cm)	Valor impossível mais alto (cm)
1			
2			
3			
4			

5. Preencha os quatro campos na figura abaixo. Faça uma figura para a medição de cada aluno do grupo.



Questão 1-5: Todos os valores de comprimento são iguais?

Questão 1-6: Se os valores são diferentes, você acha que ajudaria dividir a escala em outras 10 partes (escala de centenas de mícrons)? Se os valores são os mesmos, o que você acha que aconteceria se usássemos uma régua com escala de centenas de mícrons?

Questão 1-7: Quantas destas subdivisões adicionais (em relação à régua milimetrada) você acha que são possíveis na prática? Justifique a sua resposta.

Questão 1-8: Você acha que conseguiria eventualmente medir o comprimento "verdadeiro" da caneta desta maneira (aumentando cada vez mais o número de subdivisões)? Justifique a sua resposta.

Questão 1-9: Como que os intervalos de valores das figuras nos itens (3) e (5) se comparam? Qual dos dois casos fornece um melhor conhecimento a respeito do valor do mensurando e por que?

Comentário: Não importa qual escala analógica você está lendo (quantas divisões ela contém). Você terá sempre que fazer um julgamento a respeito do valor do último dígito.

Atividade 1-2: Fazendo medições com um instrumento digital

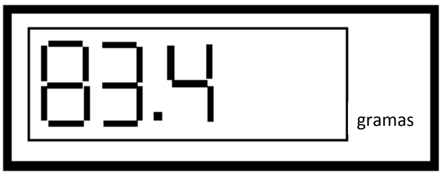
Esta próxima atividade não é um experimento real, mas um exercício. Suponha agora que lhe seja dado um objeto de metal e a tarefa de determinar a massa (desconhecida) deste objeto. Para isto, você tem a sua disposição uma balança digital que está inicialmente ajustada para mostrar o valor da medição com apenas uma única casa decimal (em gramas).

Questão 1-10: Se o valor verdadeiro da massa do objeto fosse o indicado na coluna à esquerda da tabela abaixo, o que a balança indicaria? Note que a balança

terá que fazer um arredondamento, pois pode mostrar apenas <u>uma</u> casa decimal. Preencha a tabela abaixo para os vários casos.

Massa verdadeira do objeto (g)	Leitura da balança (g)
83,36	
83,34	
83,44	
83,46	

1. Você agora coloca o objeto na balança digital. Considere que a figura ao lado ilustra o painel mostrador da balança.



Questão 1-11: Qual o valor que você registraria como sendo a leitura da balança? Você precisou fazer algum julgamento ("chute") para chegar a este valor, tal como no caso da régua da atividade anterior?

Questão 1-12: Baseado apenas na leitura da balança digital do item (1), qual seria o <u>menor</u> dos seguintes intervalos dentro do qual é mais <u>provável</u> que a massa do objeto se encontre: 83,395 g – 83,404 g; 83,35 g – 83,44 g; 83,3 g – 83,5; 83 g – 84 g? *Dica: Reveja a sua resposta à Questão 1-10 acima.*

2. Você ajusta a balança para mostrar duas casas decimais (em gramas). Isto significa que agora a balança irá mostrar leituras com a resolução de centésimos de grama (0,01 g).

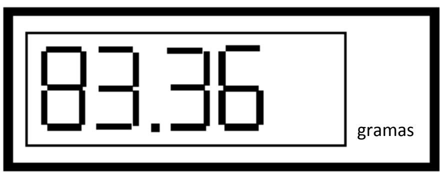
Claramente o segundo dígito depois da vírgula decimal deverá ser 0 ou 1 ou 2 ou 3 ou 4 ou 5 ou 6 ou 7 ou 8 ou 9. Suponha que você não olhe para o painel da balança.

Questão 1-13: Você consegue prever com certeza qual será o último dígito mostrado no painel?

Questão 1-14: Você consegue dizer qual é a <u>probabilidade</u> do último dígito ser um 6, por exemplo? Esta probabilidade é igual ou diferente para qualquer outro valor para o último dígito?

PROSSIGA APENAS APÓS RESPONDER AS QUESTÕES ACIMA.

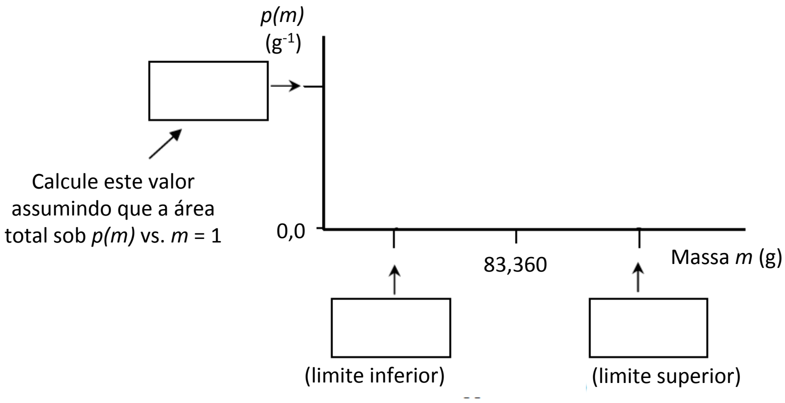
3. Agora o painel da balança mostra o seguinte:



Questão 1-15: Qual o valor que você registraria como sendo a leitura da balança? Você precisou fazer algum julgamento ("chute") para chegar a este valor?

Questão 1-16: Baseado apenas na leitura da balança digital, qual seria o menor dos seguintes intervalos dentro do qual é mais provável que a massa do objeto se encontre: 83,3595 g – 83,3604 g; 83,355 g – 83,364 g; 83,35 g – 83,37; 83,3 g – 83,4 g?

4. Considerando as suas respostas às questões anteriores (Questões 1-14 e 1-16), esboce na figura abaixo a curva de probabilidade que melhor representa, na sua opinião, a distribuição dos valores de massa do objeto. Preencha os três campos na figura.



Questão 1-17: Seria possível projetar e construir uma balança digital que poderia mostrar uma leitura com um número infinito de casas decimais? Explique a sua resposta.

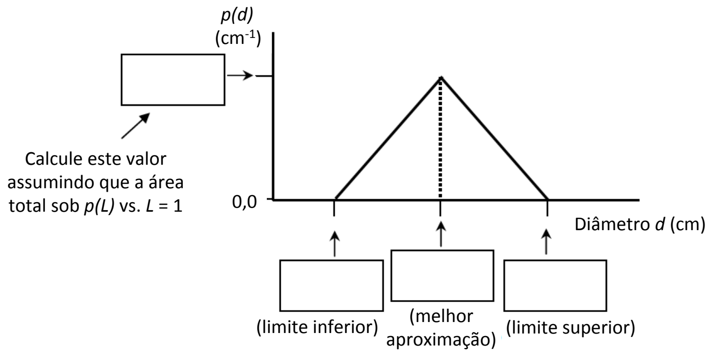
Comentário: A informação que podemos obter sobre um mensurando não pode nunca ser 100% completa. A informação sobre o mensurando obtida a partir da leitura de um instrumento, seja ele analógico ou digital, é um intervalo de valores que não pode ser reduzido a um ponto. Portanto, mesmo que não haja outros fatores influenciando a medição, a escala do instrumento limita o que podemos saber e o resultado final de uma medição será sempre um intervalo de valores.

PARTE 2: PRATICANDO MEDIÇÕES COM UMA ESFERA DE AÇO

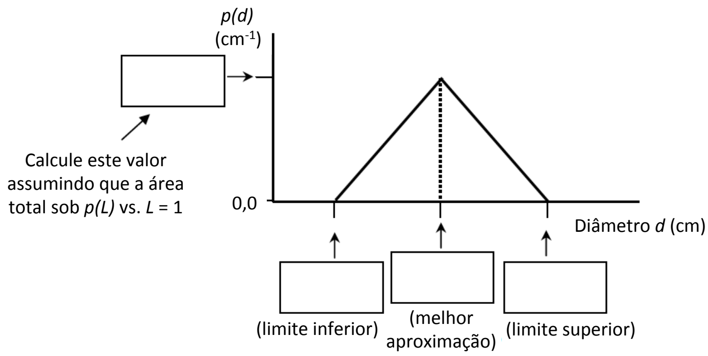
Você irá agora praticar medições variadas com uma esfera de aço. Irá medir o diâmetro da esfera com um paquímetro, sua massa com uma balança digital e, por fim, estimar a sua altura ao posicioná-la no final de uma rampa de madeira, acima do tampo da sua bancada experimental. Estes tipos de medições aparecerão com frequência nos demais experimentos da disciplina.

Atividade 2-1: Medindo o diâmetro e a massa da esfera

1. Primeiro, meça o diâmetro da esfera com uma régua. Preencha a figura abaixo.

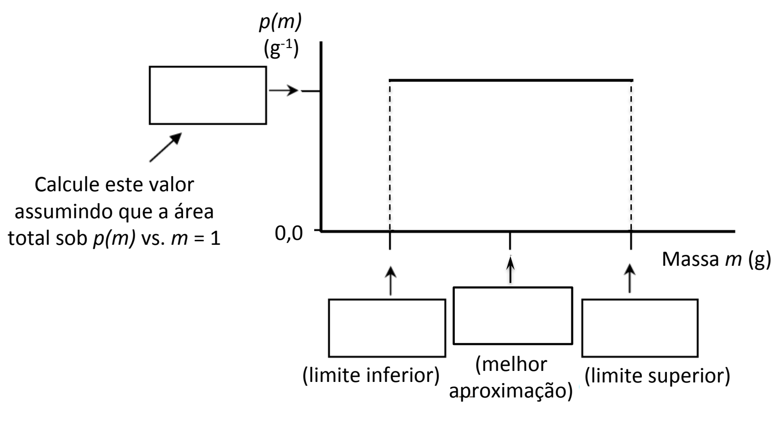


2. Agora meça o diâmetro da mesma esfera com o paquímetro que lhe foi disponibilizado. Preencha a figura abaixo.

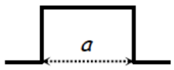
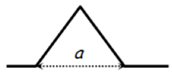


Questão 2-1: Como que os intervalos de valores possíveis das figuras nos itens (1) e (2) se comparam? Qual dos dois instrumentos de medição fornece um melhor conhecimento a respeito do valor do mensurando e por que?

3. Meça a massa da esfera com a balança digital disponibilizada e preencha a figura abaixo.



Comentário: Ao relatarmos o resultado de uma medição é importante fornecer não apenas a melhor estimativa para o valor do mensurando, mas também um valor que caracterize o tamanho do intervalo da distribuição de probabilidades. Esse valor é conhecido por *incerteza-padrão* (*u*). A tabela a seguir resume como calcular a incerteza-padrão para as duas distribuições, chamadas de função de densidade de probabilidade, consideradas aqui.

Função de densidade de probabilidade		**Incerteza-padrão *u***	**Quando usar**
retangular		$u = \frac{a}{2\sqrt{3}}$	Instrumento digital
triangular		$u = \frac{a}{2\sqrt{6}}$	Instrumento analógico

Note que a tabela acima não representa regras rígidas, mas apenas um guia. Em alguns casos pode-se atribuir uma função de densidade de probabilidade retangular à uma medição feita com um instrumento analógico.

Questão 2-2: Qual é a incerteza-padrão associada à leitura da régua em (1)? $u_{régua}$ = ________________

Questão 2-3: Qual é a incerteza-padrão associada à leitura do paquímetro em (2)? $u_{paquímetro}$ = ________________

Questão 2-4: Qual é a incerteza-padrão associada à leitura da balança digital do item (3)? $u_{balança}$ = ________________

Atividade 2-2: Medindo a altura da esfera em uma rampa

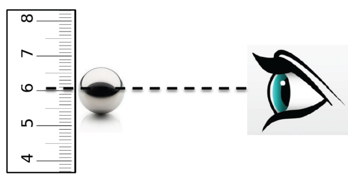
Vamos agora explorar uma situação bastante típica e que aparecerá algumas vezes em F129: determinar a altura de algo (no caso, uma esfera de aço) em relação ao tampo da sua bancada experimental. Aqui, a esfera de aço será posicionada, em repouso, no final de uma rampa de madeira.

1. Ajuste a rampa de modo que a sua extremidade inferior fique nivelada em relação ao solo. Use um nível de bolha.

2. Coloque a esfera no final da rampa. Ela fica estacionária? Se ela se mover para frente ou para trás, refaça o nivelamento.

O seu objetivo agora é determinar a altura do centro da esfera em relação à bancada.

3. Meça a altura do centro da esfera com uma régua ou trena. Ao fazer isso, procure manter seus olhos à mesma altura da esfera, olhando perpendicularmente à esfera e à régua.



Questão 2-5: Qual é a altura do centro da esfera? Anote o valor abaixo.

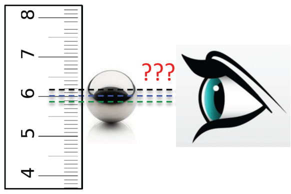
Altura do centro da esfera: h = ________________

Questão 2-6: Qual é a incerteza-padrão associada à leitura da régua?

$u_{régua}$ = ________________

Note que além da incerteza da resolução da régua, há pelo menos outras duas fontes de incerteza nesta medição: localização visual do centro da esfera e efeito de paralaxe na leitura da régua.

Ao determinar a altura do centro da esfera no item 3, você teve que localizar visualmente o seu centro. O quão confiante você está em relação a está determinação? Olhe para a esfera cuidadosamente.



Questão 2-7: O quanto (em mm) você está (in)certo em relação a localização do centro da esfera?

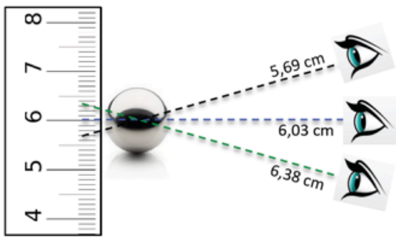
4. Atribua a esta avaliação de incerteza uma função de densidade de probabilidade ***retangular*** cuja largura corresponde ao valor estimado na questão acima.

Questão 2-8: Qual é a incerteza-padrão associada à localização do centro da esfera?

u_{centro} = ________________

A próxima fonte de incerteza a ser analisada é aquela advinda do efeito de paralaxe.

Comentário: O efeito de paralaxe é uma das fontes de incerteza mais comuns em uma medição. Paralaxe se refere à aparente mudança de posição de um objeto quando o observador muda de posição.



5. Refaça a leitura da altura do centro da esfera, mas agora observando a esfera e a régua de baixo para cima, posicionando seus olhos à mesma altura do tampo da bancada.

Questão 2-9: Qual é a leitura que você faz agora da altura do centro da esfera observada a partir desta nova posição? Anote o valor abaixo.

Altura do centro da esfera: h = ________________

6. Compare com a medida anterior (Questão 2-5).

Questão 2-10: Há alguma diferença entre os dois valores? Comente.

Obviamente que a situação do item 5 é extrema. Normalmente, a medição é realizada procurando-se minimizar o ângulo de observação, posicionando-se perpendicularmente e a uma mesma altura do instrumento de medição.

Questão 2-11: Qual seria uma estimativa mais razoável para a incerteza introduzida por paralaxe na sua medição na situação em que procura-se minimizar o ângulo de observação?

7. Assuma uma função de distribuição ***retangular*** associada a esta avaliação da incerteza de paralaxe.

Questão 2-12: Qual é a incerteza-padrão associada ao efeito de paralaxe?

$u_{paralaxe}$ = ________________

Comentário: Quando se há mais de uma componente de incerteza envolvida na medição, essas componentes devem ser combinadas de modo a produzir uma incerteza total da medição. A incerteza-padrão combinada u_c é a incerteza-padrão do resultado de uma medição oriunda da combinação em quadratura das várias componentes de incertezas. Ou seja, a incerteza-padrão combinada corresponde à raiz quadrada positiva de uma soma de termos quadráticos de incertezas: $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \cdots}$.

8. Você deve, por fim, estimar a incerteza-padrão combinada u_c da sua medição.

Questão 2-13: Qual é o valor da incerteza-padrão combinada da sua medição?

u_c = ________________

9. Preencha a tabela abaixo, chamada de *planilha de incertezas*, resumindo as três principais componentes de incerteza da sua medição.

Componente de incerteza	Incerteza-padrão (mm)	Função de densidade de probabilidade
Leitura da régua		
Centro da esfera		
Efeito de paralaxe		
Incerteza-padrão combinada: u_c = __________		