

Estimativa dos Erros de Medição Associados ao Uso de Vidraria Inadequada e Condições Extremas do Indicador em uma Titulação Ácido-base

Sumaia Hottes

Universidade Severino Sombra, CECETEN, Química,
sumaiahottes@hotmail.com

Almir Faria Clain

Universidade Severino Sombra, CECETEN, Química,
almirclain@hotmail.com

Resumo: *Este trabalho é um estudo comparativo de análise titrimétrica empregando diferentes vidrarias para medição dos volumes do titulado e condições extremas do indicador. Foram utilizadas vidrarias de diferentes precisões e sabidamente inadequadas para a análise empregada, bem como diferentes quantidades do indicador. Um estudo estatístico foi utilizado para comparar as diversas condições de análise com aquela considerada ideal.*

Palavras-Chave: *Titrimetria. Erros. Exatidão. Precisão.*

Estimates of Measurement Errors Associated with Inappropriate Use of Glassware and Extreme Conditions Indicator in an Acid-Base Titration

Abstract: *This paper is a comparative study of titrimetric analysis using different glasswares for measuring the volumes of titrated solutions and the extreme conditions of the indicator. It was used glasswares from different precisions and notoriously inadequate for the employed analysis, as well as different amounts of indicator. A statistical analysis was used to compare the several conditions of analysis.*

Keywords: *Titration. Errors. Accuracy. Precision.*

1. Introdução

1.1. Análise titrimétrica

O termo análise titrimétrica refere-se à análise química quantitativa efetuada pela determinação do volume de uma solução, cuja concentração é exatamente conhecida, que reage quantitativamente com um volume conhecido da solução que contém a substância a ser determinada (Vogel, Jeffery, Basselt, Mengham & Denney, 1992).

Este pode ser considerado um método de fácil execução, visto que, necessita de vidrarias calibradas relativamente simples para a medição de volumes, como pipetas, balões volumétricos e buretas. Também são requeridas substâncias de pureza conhecida, bem como indicadores visuais para detecção do ponto final da reação.

Em titrimetria convencionam-se chamar a solução de concentração conhecida e que é adicionada pela bureta, de titulante, e a solução, cuja concentração se deseja determinar, de titulado. O momento exato onde a titulação é finalizada é denominado de ponto final teórico, ou ponto estequiométrico, visto que na maioria das vezes este não corresponde ao ponto final calculado matematicamente.

Com a finalidade de permitir a visualização deste ponto final faz-se uso de indicadores, que no caso das titulações de neutralização devem ter sua cor alterada devido às suas modificações estruturais.

1.2. Erros e incertezas numa análise química

Genericamente numa medição qualquer os erros podem ser classificados como: grosseiros, sistemáticos e aleatórios. Os erros grosseiros são aqueles que podem decorrer, por exemplo, da má leitura das escalas, de ajustes imperfeitos do instrumento, ou seja, basicamente da imperícia ou desatenção do analista que está medindo (Gallas, 2008).

Os erros aleatórios decorrem de fatores não controlados na realização de medidas e seu efeito consiste em produzir ao acaso acréscimos e decréscimos no valor obtido.

Os erros sistemáticos são ocasionados por uma falha na execução de um experimento ou uma falha em um equipamento, não sendo reduzidos com o aumento do número de medidas realizadas sob as mesmas condições (Braz, Fontelles & Brandim, 2007). Podendo ser de três tipos: os erros instrumentais, que são causados pelo comportamento não ideal de um instrumento, por calibrações mal feitas ou pelo uso do material em condições inadequadas; erros de método, os quais se originam do comportamento físico ou químico não ideal de sistemas analíticos e erros pessoais, que resultam da falta de atenção ou conhecimento do próprio analista (Baccan, Andrade, Godinho & Barone, 2001).

Em geral, o resultado de uma medição é considerado simplesmente uma estimativa do valor verdadeiro do mensurando, pois tanto os instrumentos de medição, como os métodos utilizados e o analista que as executa apresentam imperfeições que de certa forma irão provocar alterações no resultado final. Devido a isso a medição não estará completa se não for acompanhada de alguma indicação de qualidade, sendo esta dada por um número que indica com uma determinada probabilidade os limites em que se pode encontrar o valor verdadeiro do mensurando (Saraiva & Venturini, 2003).

Devem-se distinguir com cuidado os termos erro e incerteza. Estes termos não são

sinônimos, pelo contrário, tem conceitos completamente diferentes. A incerteza caracteriza a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurado, estando associado ao resultado de uma medição, já o erro é definido como a diferença entre um resultado encontrado e o valor considerado verdadeiro (Tabacniks, 2009).

É também importante salientar a diferença entre exatidão e precisão. A precisão (de um instrumento ou método) refere-se à invariabilidade com que são obtidos os valores de medidas realizadas em condições rigorosamente similares. Já a exatidão pressupõe a variabilidade das medidas (embora feitas em condições idênticas), sendo o valor central da distribuição (geralmente a média aritmética) o mais próximo de um valor considerado verdadeiro (Bicas, 2003).

1.3. Erros de procedimentos comuns na análise titrimétrica

Numa análise 'volumétrica' é comum observarmos vários erros de procedimentos. Dentre esses erros podemos citar:

- a) Erro na leitura do volume em uma bureta. Um erro muito frequente ocorre na hora de ajustar o menisco, este erro está diretamente relacionado à área de secção transversal do instrumento, quanto maior for esta área maior será o erro a ela associado. Este erro pode causar uma diferença no volume real do titulante gasto e no volume medido.
- b) Erro de pesagem. Além do erro da pesagem propriamente dita cabe destacar o erro causado pelo uso de balança com pouca precisão (menor que 4 casas decimais).
- c) Erro devido ao uso de excesso de indicador. Erroneamente imagina-se que uma melhor visualização do ponto final da titulação pode ser obtida se adicionarmos um grande volume de indicador. Este é um conceito errado, visto que a mudança de cor pouco é influenciada pela concentração do indicador. A mudança de coloração do indicador se deve às suas modificações estruturais e além do mais, não se deve esquecer que os indicadores numa reação de neutralização são bases ou ácidos orgânicos que mesmo sendo fracos consomem titulantes. O uso de uma quantidade mínima de indicador também apresenta erros devido à dificuldade de visualização da mudança de cor.
- d) Erro devido ao uso de vidraria inadequada para medição de volumes. Esses erros são atribuídos à falta de informação sobre a diferença entre vidrarias consideradas volumétricas, com precisões relativamente altas e vidrarias para medidas aproximadas de volumes, como provetas, pipetas graduadas, bechers, erlenmeyers, entre outros.

Os instrumentos comuns de medida de volume de líquido são de dois tipos: os que medem volumes variáveis (e para tanto possuem uma escala graduada) e os que medem volumes definidos (e para tanto possuem apenas um risco ou marca), sendo chamados de volumétricos. Os instrumentos volumétricos apresentam precisão e exatidão superiores aos instrumentos similares.

Em experimentos químicos, como a análise titrimétrica o uso de vidraria volumétrica calibrada é essencial para a medida do volume de líquidos. De modo que, o uso de vidraria inadequada pode acarretar desvio significativo no resultado final da análise.

2. Parte Experimental

2.1. Vidrarias e Equipamentos

Bureta de 25 mL;

Pipetas volumétricas de 25 mL;

Pipeta graduada de 25 mL;

Proveta de 25 mL;

Becker de 50 mL com marcação de 25 mL;

Balões volumétricos de 2L;

Erlenmeyers de 250 mL;

Pêra de pipetar;

Suporte universal;

Garras e espátulas metálicas;

Balança analítica com precisão de 0,0001g.

2.2. Reagentes

Água destilada grau 3;

Ácido clorídrico PA, Merck;

Hidróxido de sódio micro pérolas PA, Vetec;

Bórax (tetraborato de sódio) PA, Merck;

Fenolftaleína PA, Merck;

Metilorange PA, Merck;

Álcool etílico 99% PA, Vetec.

2.3. Preparações das soluções

Solução 0,1 mol/L de HCl

Com o auxílio de uma pipeta graduada transferiu-se 17,2 mL de HCl concentrado para balão volumétrico de 2L contendo uma pequena quantidade de água destilada, e completou-se o volume com a mesma.

Solução 0,1 mol/L de NaOH

Em água destilada previamente fervida e a temperatura ambiente diluiu-se aproximadamente 8 g de NaOH e transferiu-se para balão volumétrico de 2L completando o volume com a água fervida.

2.4. Padronização da solução de HCl 0,1 mol/L

A solução de HCl foi padronizada com bórax usando-se metilorange como indicador. A padronização foi realizada em triplicata e então determinou-se a média das 3 titulações. A massa de bórax utilizada em cada titulação foi cerca de 0,4 g. A molaridade (M) da solução de HCl foi fornecida pela fórmula abaixo:

$$M = (\text{massa do bórax}) / (\text{volume de HCl} \times \text{mMol do bórax})$$

[Equação1]

2.5. Titulação da solução de NaOH com HCl nas várias condições de análises

A parte experimental principal constou basicamente de titulações da mesma solução de NaOH com a mesma solução padronizada de HCl, variando-se somente as vidrarias utilizadas para as medidas dos volumes de NaOH (condição variação da vidraria) e as quantidades de indicador (condição extrema do indicador).

Na condição denominada padrão mediu-se 25 mL da solução de NaOH com uma pipeta volumétrica, transferiu-se o volume para um erlenmeyer de 250 mL, adicionaram-se mais 25 mL de água e 2 gotas de fenolftaleína 1% em álcool e titulou-se com a solução padrão de HCl.

Nas titulações em que foram variadas as vidrarias de medição do titulado (becker, proveta e pipeta graduada), foram mantidas as mesmas condições de análise, (25 mL de NaOH, 25 mL de água e 2 gotas de fenolftaleína).

Nos testes onde foram variadas as condições extremas do indicador, isto é, diferentes volumes do mesmo indicador (fenolftaleína), utilizou-se a pipeta volumétrica para a medição dos volumes do titulado, adicionou-se 25 mL de água destilada e logicamente foram modificadas somente as quantidades do indicador. Nesse teste foram usadas 10 gotas de fenolftaleína 1% para o volume máximo e após diluição o volume correspondente a 0,1 da gota de fenolftaleína para o volume mínimo.

Em todas as situações, variação de vidraria de medição e variação da quantidade do indicador, as titulações foram feitas em 10 replicatas.

Embora, inadequada, cada titulação levou o nome de interesse, assim, por exemplo, o método do becker foi a titulação onde mediu-se o volume do titulado com o becker.

Com os resultados obtidos nas titulações foram efetuados testes de precisão e exatidão.

3. Resultados

A partir da equação 1, a concentração real encontrada para a solução de HCl preparada foi igual a 0,1045 mol/L, de modo que, seu fator de correção foi 1,450. Os volumes de HCl gastos nas titulações do NaOH de acordo com as diferentes condições analisadas (condição variação da vidraria e condição extrema do indicador) encontram-se descritos na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Volume em mL de HCl aproximadamente 0,1 mol/L gasto nas titulações

| Método padrão | Método da pipeta graduada | Método da proveta | Método do becker | Método do máximo de indicador | Método do mínimo de indicador |
|---------------|---------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 23,0 | 23,1 | 22,9 | 21,4 | 23,2 | 21,4 |
| 22,9 | 23,1 | 22,9 | 22,0 | 23,0 | 22,5 |
| 22,9 | 23,1 | 23,1 | 22,6 | 23,2 | 22,6 |
| 23,0 | 23,1 | 22,8 | 21,7 | 23,3 | 22,1 |
| 23,1 | 23,1 | 22,8 | 21,4 | 23,0 | 22,7 |
| 23,1 | 23,2 | 23,1 | 21,6 | 23,2 | 22,8 |
| 23,0 | 23,2 | 23,0 | 21,6 | 23,2 | 22,7 |
| 22,9 | 23,3 | 23,1 | 21,8 | 23,0 | 22,4 |
| 23,0 | 23,2 | 23,0 | 22,5 | 23,1 | 22,6 |
| 22,9 | 23,2 | 22,9 | 21,6 | 23,2 | 22,5 |

De posse dos resultados dados foram calculados os desvios padrões de cada método; os resultados obtidos encontram-se dispostos na tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Média, desvio padrão variância e desvio padrão relativo, calculados a partir dos resultados obtidos

| Estatística | Método padrão | Método da pipeta graduada | Método da proveta | Método do becker | Método máx. ³ de indicador | Método mín. ⁴ de indicador |
|---------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| média | 22,98 | 23,16 | 22,96 | 21,82 | 23,14 | 22,43 |
| desv.pad ¹ | 0,0789 | 0,0699 | 0,1174 | 0,4237 | 0,1075 | 0,4111 |
| variância | 0,0062 | 0,0049 | 0,0138 | 0,1796 | 0,0116 | 0,1690 |
| desv.pad.rel ² | 0,3433 | 0,3019 | 0,5112 | 1,9420 | 0,4645 | 1,8328 |

Obs: ¹desvio padrão, ²desvio padrão relativo, ³máximo, ⁴mínimo.

Para avaliar a precisão dos métodos foram utilizados seus desvios padrões relativos.

Dentre os diversos métodos com as vidrarias de medição de volumes analisados o método do becker apresentou maior desvio padrão relativo, sendo igual a 5,6 vezes o valor encontrado para o método padrão pipeta volumétrica. Esse resultado já era esperado, visto que, o becker dentre todas as vidrarias analisadas, apresenta menor precisão. Inesperadamente o menor desvio foi obtido com o método da pipeta graduada, sendo 12,1% menor do que o observado para o método padrão da pipeta volumétrica. Isso mostra uma boa reprodutibilidade (precisão) da pipeta graduada, até melhor, nesse caso, que a da pipeta volumétrica. O método da proveta apresentou resultado 1,5 vezes do valor encontrado para o método padrão da pipeta volumétrica.

Quando foram avaliadas as condições do indicador, o método do mínimo de indicador apresentou maior desvio, igual a 5,3 vezes o desvio encontrado para o método tomado como padrão, já o desvio encontrado para o método do máximo de indicador mostrou-se 35% superior ao obtido para o padrão.

Ao comparar os métodos das vidrarias e os métodos do indicador, o método do becker e o do mínimo de indicador apresentaram os maiores desvios em relação ao método considerado padrão.

4. Testes de precisão e exatidão

Uma vez que as concentrações do NaOH são proporcionais aos volumes gastos nas titulações, utilizaram-se esses volumes nos testes de precisão e exatidão.

Os testes utilizados foram o F-teste para cálculo de precisão e o T-teste para o cálculo de exatidão.

4.1. Teste de precisão utilizando o F-Teste

No F-teste são comparados os desvios-padrões a fim de comprovar se existe diferença significativa entre os métodos que estão sendo testados; isto é, um método específico e o método considerado padrão.

O F-teste considera a relação entre as duas variâncias amostrais, ou seja, a relação entre os quadrados dos desvios-padrão. Sendo expresso pela equação dada abaixo:

$$F = s_1^2/s_2^2 \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde s_1 e s_2 são os desvios padrões do método testado e do método padrão. Os valores de s_1^2 e s_2^2 são colocados na fórmula de modo que F seja sempre ≥ 1 , ou seja, será sempre a maior variância dividida pela menor variância.

A hipótese nula adotada é que as populações de onde as amostras são tomadas são normais, e que as variâncias populacionais são iguais, ou seja, não existe diferença significativa de precisão entre nenhuma das vidrarias analisadas e a que foi tomada com padrão e entre a condição padrão e as condições extremas analisadas. Se a hipótese nula é verdadeira, então a razão de variância deve ser próxima a 1.

As diferenças ocorrem porque a partir de 1 a variação é aleatória, de modo que o erro é apenas estatístico, mas se a diferença é muito grande, ele já não pode ser atribuído a esta causa. Se os valores calculados de F excedem um determinado valor crítico, então a hipótese nula é rejeitada. Este valor crítico de F depende do tamanho das duas amostras, do nível de significância e do tipo de teste realizado. Os valores do valor crítico para $P=0,05$ estão na tabela de valores de F para diversos níveis de significância.

O valor crítico de F é retirado da tabela levando em consideração os graus de liberdade do método padrão e do método testado. Em ambos os casos, os graus de liberdade são 9 (10-1). Na tabela, os graus de liberdade do denominador na equação 2 ficam na coluna mais a esquerda e os graus de liberdade do numerador ficam no topo. Nessas condições o

valor crítico de F corresponde 3,179, conforme pode ser visto na tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Valores críticos de F (0,95), teste monocaudal

| | | Graus de Liberdade | | | | | | | | | |
|--------------------|----|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Graus de Liberdade | 1 | 161 | 200 | 216 | 225 | 230 | 234 | 237 | 239 | 241 | 242 |
| | 2 | 18,5 | 19 | 19,2 | 19,2 | 19,3 | 19,3 | 19,4 | 19,4 | 19,4 | 19,4 |
| | 3 | 10,1 | 9,55 | 9,28 | 9,12 | 9,01 | 8,94 | 8,89 | 8,85 | 8,81 | 8,79 |
| | 4 | 7,71 | 6,94 | 6,59 | 6,39 | 6,26 | 6,16 | 6,09 | 6,04 | 6 | 596 |
| | 5 | 6,61 | 5,79 | 5,41 | 5,19 | 5,05 | 4,95 | 4,88 | 4,82 | 4,77 | 4,74 |
| | 6 | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,21 | 4,15 | 4,1 | 4,06 |
| | 7 | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,79 | 3,73 | 3,68 | 3,64 |
| | 8 | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,5 | 3,44 | 3,39 | 3,35 |
| | 9 | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,29 | 3,23 | 3,18 | 3,14 |
| | 10 | 4,96 | 4,1 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,14 | 3,07 | 3,02 | 2,98 |

(Miller & Miller, 1993)

A tabela 4 mostra os valores de F encontrados para cada uma das condições que foram analisadas, bem como respectivo valor crítico de F.

Tabela 4: Comparação entre os valores de F obtidos para os métodos propostos e o valor crítico

| Método | Valor de F | Valor crítico de F |
|---------------------|------------|--------------------|
| becker | 28,875 | 3,179 |
| Pipeta graduada | 1,273 | 3,179 |
| Proveta | 2,214 | 3,179 |
| Máx.* do indicador | 1,857 | 3,179 |
| Mín.** do indicador | 12,266 | 3,179 |

Obs: *máximo, ** mínimo

Tomando por base o valor crítico igual a 3,179 não foram verificadas diferenças de precisão significativas entre os métodos da pipeta graduada, da proveta, e do máximo de indicador, quando comparados ao método padrão pipeta volumétrica. Sendo que entre estes, o método que apresentou maior precisão foi o da proveta. Já os métodos do becker e do mínimo de indicador, tomando como base a precisão, diferem significativamente do método tomado como padrão, pois o valor encontrado foi maior que o valor crítico.

4.2. Teste de exatidão utilizando o T- Teste

A exatidão dos métodos analisados foi avaliada comparando os resultados obtidos nas condições empregadas (becker, pipeta graduada, proveta, mínimo de indicador e máximo de indicador) por meio da aplicação do T-teste de *Student*. No T-teste tem-se duas médias

amostrais x_1 e x_2 . Tomando-se como hipótese nula que as diferentes vidrarias e condições do indicador dão o mesmo resultado, é preciso testar se $(x_1 - x_2)$ difere significativamente de zero. Se as duas amostras têm desvios padrões que não são significativamente diferentes, a estimativa conjunta de desvio-padrão pode ser calculada a partir dos desvios-padrões individuais s_1 e s_2 usando a equação:

$$S^2 = \{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2\} / (n_1 + n_2 - 2)$$

[Equação 3]

E o valor de t é dado por:

$$t = (X_1 - X_2) / (S \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{1/2})$$

[Equação 4]

Para 10 determinações em cada método (método padrão e o método testado), considerando os graus de liberdade, que nesse caso será dado pelo número total de determinações (10+10) que estão sendo comparadas, menos duas unidades, sendo, portanto igual a dezoito e para um nível de confiança de 95% ($P=0,05$), tem-se o valor crítico de $|t|$, retirado da tabela t da distribuição de *Student*, igual 2,10, conforme pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5: Valores críticos de t (0,95), teste bicaudal

| Graus de Liberdade | Valor crítico de t |
|--------------------|----------------------|
| 1 | 12,706 |
| 2 | 4,303 |
| 3 | 3,182 |
| 4 | 2,776 |
| 5 | 2,571 |
| 6 | 2,447 |
| 7 | 2,365 |
| 8 | 2,306 |
| 9 | 2,262 |
| 10 | 2,228 |
| 11 | 2,201 |
| 12 | 2,179 |
| 13 | 2,160 |
| 14 | 2,145 |
| 15 | 2,131 |
| 16 | 2,120 |
| 17 | 2,110 |
| 18 | 2,101 |
| 19 | 2,093 |
| 20 | 2,086 |

(Miller & Miller, 1993)

A tabela 6 mostra os valores de S^2 e S para as condições analisadas, bem como seus respectivos valores de t :

Tabela 6: Valores de S^2 , S e t para os diferentes métodos empregados

| Método | Valor de S^2 | Valor de S | Valor de t | Valor t crítico |
|-----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|
| Becker | 0,0929 | 0,3048 | 8,5106 | 2,10 |
| Pipeta graduada | 0,0056 | 0,0745 | 5,4000 | 2,10 |
| Proveta | 0,0100 | 0,1000 | 0,4472 | 2,10 |
| Máx. ind * | 0,0089 | 0,0943 | 3,7947 | 2,10 |
| Mín. ind** | 0,0914 | 0,3023 | 4,0682 | 2,10 |

Obs: * máximo de indicador, ** mínimo de indicador

Pelos valores obtidos de t comparados com o valor crítico 2,10, somente o método da proveta apresentou exatidão semelhante ao método padrão, uma vez que o valor calculado de t foi menor que o valor crítico. Os demais métodos (pipeta graduada, do becker, e das condições do indicador) diferem significativamente do método padrão, pois a diferença de exatidão se mostrou significativa, sendo que o método do becker apresentou diferença mais significativa. Esperava-se que o método utilizando pipeta graduada apresentasse valor de t inferior ao crítico, ao contrário do que foi comprovado na prática. Assim, apenas o método da proveta apresentou exatidão semelhante ao método padrão, com 95% de nível de confiança.

5. Conclusões

Pelo F-teste o método do becker e do valor mínimo de indicador mostraram diferenças significativas em relação à precisão, comparado com o método padrão. Os demais métodos não mostraram diferenças significativas.

Já pelo T-teste, o único método que não apresentou diferença significativa em relação à exatidão, comparado com o método padrão, foi o método da proveta. Combinando os 2 testes, observou-se que apenas o método da proveta apresentou precisão e exatidão semelhantes ao método padrão num nível de confiança de 95%.

Apesar do método da proveta apresentar precisão e exatidão semelhantes ao do método considerado padrão, o desvio padrão relativo do método da proveta foi quase 1,5 vez maior que o do método padrão. Assim não se deve utilizar essa vidraria de medição de volume em substituição à pipeta volumétrica.

Um resultado inesperado foi encontrado nos testes realizados com o método da pipeta graduada, que deveria apresentar desempenho superior ao da proveta, pois sabidamente a pipeta graduada apresenta precisão e exatidão superiores à proveta.

O grande desvio observado quando foi utilizada a condição extrema mínima; se deve à grande dificuldade em visualizar o ponto final da titulação.

Referências

- Baccan, N., Andrade, J. C., Godinho, O. E. S., & Barone, J. S. (2001). *Química analítica quantitativa elementar* (3ªed.). São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Editora Edgar Blucher.
- Bicas, H. E. (2003). Mensurações em Ciência. *Arq. Bras. Oftalmologia*, vol 66 n°4. São Paulo, julho/agosto.
- Braz, D. C., Fontelles, C. A. L., & Brandim, A. S. (2007). *Calibração de vidrarias volumétricas com suas respectivas incertezas expandidas calculadas*. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa, PB.
- Gallas, M. R. (1998). Incerteza de medição. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física. Acesso em 18/08/2010. Endereço: <http://www.if.ufrgs.br/~marcia/medidas.pdf>
- Miller, J. C., & Miller, J. N. (1993). *Statistics for analytical chemistry* (pp 53-61). Edit: Elis Horwwod PTR Prentice Hall.
- Saraiva, C. P., & Venturini, N. E. (2003). *Simplificando o cálculo da incerteza de medição em ensaios e calibrações rotineiras*. In: ENQUALAB – Encontro para a qualidade de laboratórios, SP.
- Tabacniks, M. (2009). Conceitos básicos da teoria dos erros (rev. ed.). São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Física. Acesso em 18/08/2010. Endereço: <http://plato.if.usp.br/1-2010/fep2195d/arquivos/apostila%202009.pdf>
- Vogel, A., Jeffery, G. H., Basselt, Mengham, J., & Denney, R. C. (1992). *Análise química quantitativa* (5ª ed.). Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos.