



Figura 5.1: Em sentido horário: parte superior do DMA com o eletrodo rosqueado, vista inferior da parte superior do DMA sem o eletrodo e borracha de vedação, base do DMA e eletrodo interno

Tabela 5.1: Medidas da espessura da fenda do DMA

Medidas	Espessura (mm)
1	1,53
2	1,36
3	1,65
4	1,45

fechado pela ausência de partículas na saída, logo optou-se por colocar novamente a antiga borracha de vedação e apenas apertar os parafusos contidos no flange do DMA de maneira a diminuir a espessura até 1 mm. Como esta etapa não surtiu efeito nos resultados, optou-se por alterar a placa perfurada por onde passa o ar invólucro.

A placa original contém 6 pequenos furos uniformemente distribuídos, 1 cm de espessura e era feita de acrílico. Entretanto, ao desrosquear o eletrodo da parte superior do DMA, notou-se que entre a placa e a camisa de tecnil que separa os fluxos de ar havia uma folga. A isto poderia ser atribuída a ausência do regime laminar no ar de invólucro, fundamental para a classificação. Optou-se por aumentar o número de furos na placa para 11, e colocar logo abaixo uma tela de aço inox de abertura de 150 μm ou 100 mesh (semelhante ao trabalho de Knutson e Whitby (1975), que usou uma tela de nylon com abertura de 74 μm ou 200 mesh) o que também não melhorou a classificação. Pensou-se em construir uma placa porosa, feita com esferas de vidro e araldite exatamente no mesmo diâmetro da camisa, para impedir que o ar escoasse por alguma folga, mas os resultados não foram satisfatórios. Outra alternativa foi construir 2 placas com espessura total de 3 mm, ambas as placas com 22 furos, e colocar entre elas uma tela de aço inox de 100 mesh, o que também não implicou em resultados positivos. E por último, resolveu-se

construir uma placa de maior espessura (aproximadamente 3 cm) e 21 furos igualmente espaçados, de modo a permitir maior uniformidade no ar de invólucro de entrada, e, logo abaixo, 2 telas de aço inox de 100 mesh sobrepostas de maneira a intercalar as aberturas, para assim conseguir menor diâmetro de abertura. Esta configuração, combinada com as demais condições de operação, permitiu que a classificação de nanopartículas ocorresse de fato, e foi adotada por todo o trabalho experimental.

5.2 Projeto do DMA

Foi criada uma planilha no *software* Excel para simular o comportamento do DMA. Sete variáveis influenciavam nos cálculos: as 4 vazões mássicas, o comprimento L de classificação, e os dois diâmetros dos cilindros externo e interno. Para cada valor de tensão foram calculados d_p^* , d_{p1} , d_{p2} , C^* , C_1 e C_2 . Como d_p é função de C e vice-versa, foi necessário considerar $C=1$ o “chute” inicial e realizar um procedimento iterativo para encontrar os valores de interesse, estabelecendo-se um erro menor que 10^{-6} , totalizando 300 iterações. O resultado dos diâmetros calculados *versus* tensão, bem como a amplitude crescente das medições é mostrado na Figura 5.2.

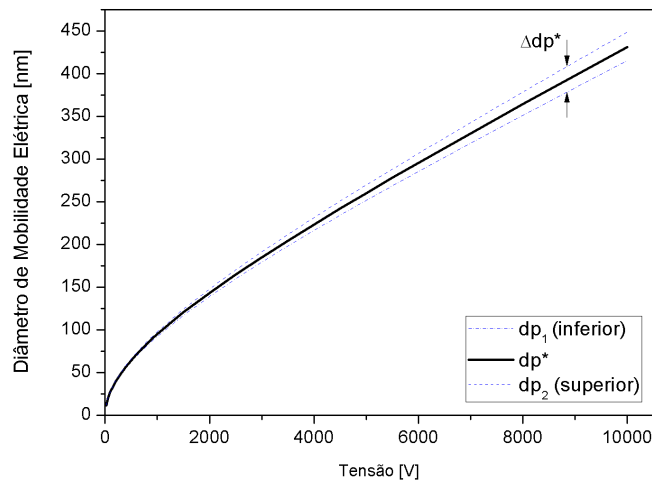


Figura 5.2: Aumento da amplitude da corrente monodispersa em função da tensão

A diferença entre d_{p2} e d_{p1} gera Δd_p^* , que dividido por d_p^* e expresso em porcentagem *versus* d_p^* indica o quanto o aerossol se tornou mais polidisperso, como indicado na Figura 5.3. Vale ressaltar que cada ponto corresponde a uma distribuição de partículas monodispersa, conforme indica o destaque da Figura 5.3.

A mobilidade elétrica para cada d_p^* calculado usando a Equação (3.6) e considerando diferentes números de carga é mostrada na Figura 5.4. Pode-se concluir que quanto maior

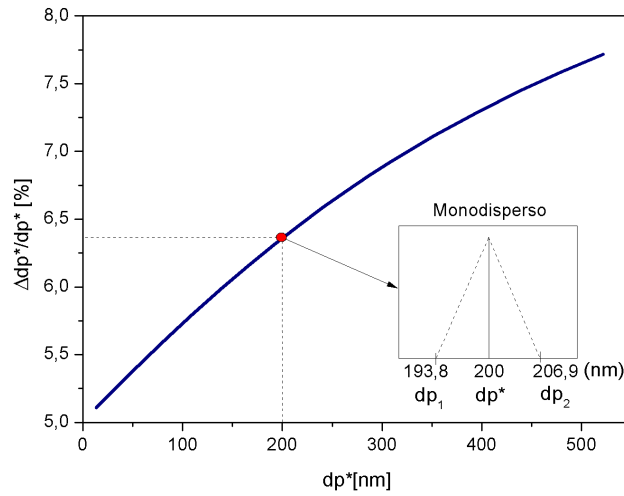


Figura 5.3: Aumento da banda de diâmetros como função de $d_p=f(V)$

a carga das partículas maior mobilidade elétrica ela apresenta, enquanto o maior tamanho da partícula denota menor capacidade da mesma em ser atraída pelo campo elétrico.

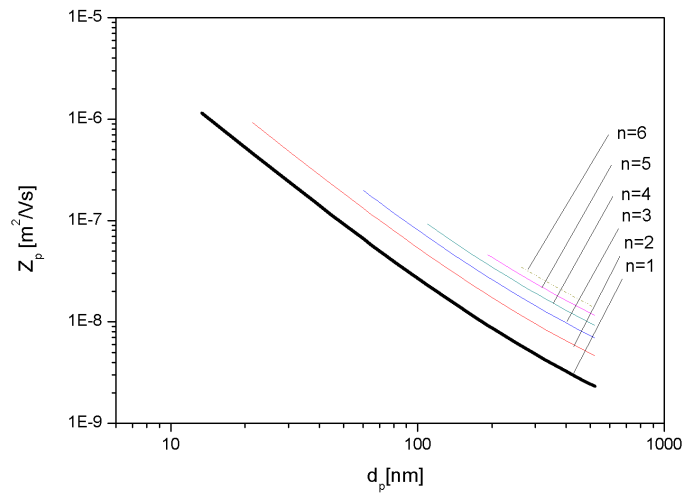


Figura 5.4: Mobilidade elétrica das partículas em função do diâmetro para diferentes cargas

Na Figura 5.5 apresenta-se a probabilidade de cargas em função da faixa de diâmetros coletados no presente estudo.

Para cada C_c^* calculado no processo iterativo tem-se o diâmetro d_p^* correspondente, em que C_c^* é a correção da descontinuidade do meio que torna a Lei de Stokes adequada para partículas com diâmetro menor do que $1\mu m$. Nota-se que conforme diminui o diâmetro da partícula, C_c^* aumenta de maneira a corrigir o “deslizamento” provocado pela dimensão da nanopartícula ser da ordem de grandeza do caminho livre médio, conforme mostrado

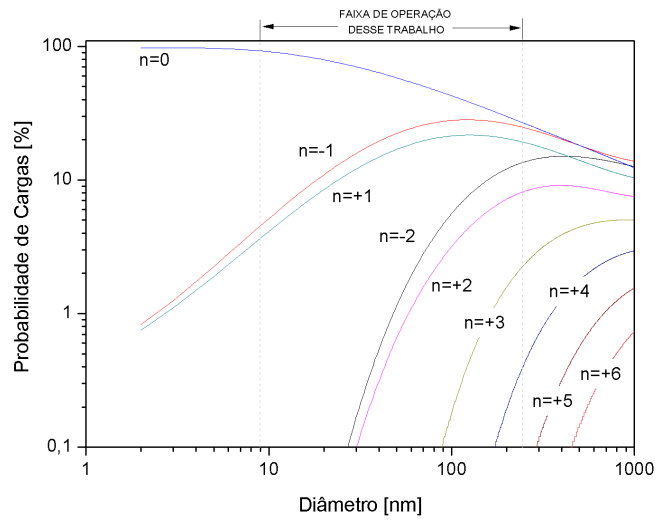


Figura 5.5: Distribuição de probabilidades de cargas em função do diâmetro das partículas na Figura 5.6.

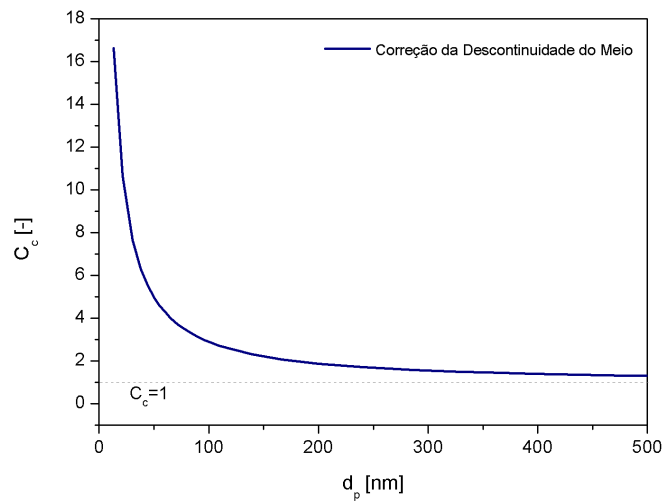


Figura 5.6: Fator de escorregamento de Cunningham em função de d_p

5.3 Testes preliminares

O primeiro teste preliminar foi realizado para verificar a dependência da concentração de partículas no aerossol com a concentração da solução salina. A Figura 5.7 ilustra esta relação de dependência que era esperada, a concentração de partículas no aerossol aumenta conforme aumenta a concentração na solução do atomizador, no qual $\#$ representa o número de partículas. A concentração máxima de solução salina utilizada foi de 3 g/L,

pois concentrações maiores poderiam comprometer mangueiras e tubulações em virtude de possíveis incrustações.

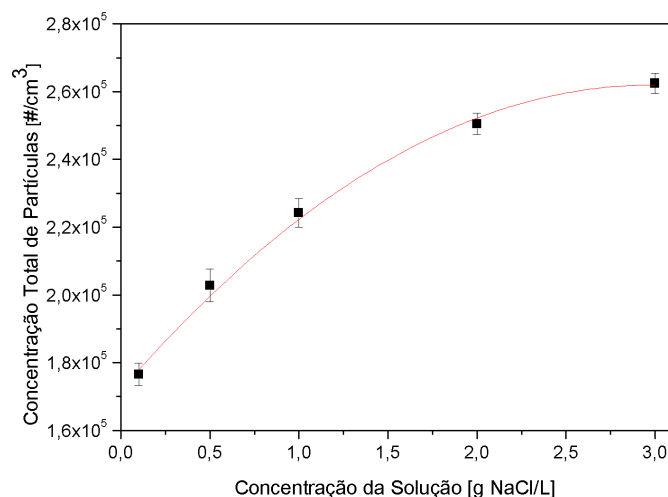


Figura 5.7: Concentração de partículas no aerossol em função da concentração de sal na solução do atomizador

O segundo teste foi feito para verificar se a alimentação era constante durante o tempo da duração dos testes com o DMA usando o atomizador comercial, conforme ilustra a Figura 5.8. Para um teste de 1 h e 40 min, observou-se que a entrada apresentava pequenas oscilações para todas as concentrações estudadas, comprovando a eficiência do atomizador na geração estável de nanopartículas.

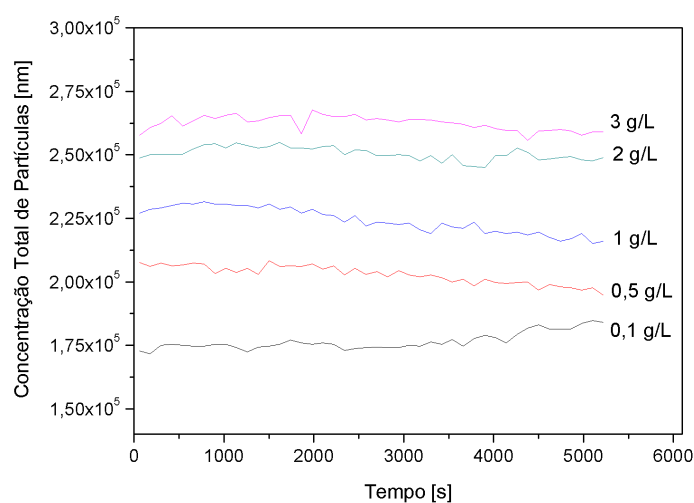


Figura 5.8: Comportamento da alimentação para as 5 concentrações estudadas

5.4 Estudo do comportamento do SMPS empregando o atomizador comercial

De acordo com o manual do SMPS da TSI, a estatística padrão baseada em distribuições normais não é adequada para a maioria das distribuições de tamanho de partícula do ar (aerossol). Geralmente a distribuição lognormal tende a ser o modelo que proporciona o melhor ajuste para os aerossóis de fonte simples. Por isso a análise estatística que será adotada para as distribuições de tamanho de aerossol nesta tese é a baseada na distribuição lognormal. Este procedimento tornou-se necessário para conhecer o perfil de distribuição de partículas de entrada da solução preparada na FEQUI/UFU, que seria usada posteriormente para testes e cálculos de balanço de massa.

A equação selecionada para representar os dados experimentais de entrada no SMPS foi obtida no *software* Origin, considerando 3 condições básicas: r^2 , menor número de parâmetros e resíduo. A equação obtida bem como os valores dos parâmetros para cada concentração, estes dispostos na Tabela 5.2, são expressos por:

$$y = y_0 + \frac{A}{\sqrt{2\pi}wx} \frac{\exp(-\ln(\frac{x}{xc})^2)}{2w^2} \quad (5.1)$$

Tabela 5.2: Valores das constantes para a Equação (5.1)

Conc. NaCl g/L	y_0 #/cm ³	Erro y_0	Valores das constantes para cada equação						r^2
			xc #/cm ³	Erro xc	w #/cm ³	Erro w	A #/cm ³	Erro A	
0,1	-23,48499	125,17897	73,10605	0,39781	0,52851	0,00419	2,71635×10 ⁶	18801,43151	0,99642
0,5	-175,67941	228,66527	84,36691	0,72845	0,57182	0,00642	3,95027×10 ⁶	39969,60825	0,99323
1	-257,76813	304,91295	89,60499	0,66951	0,56488	0,00561	6,33206×10 ⁶	55929,37085	0,99476
2	-64,48322	307,75666	98,15359	0,65171	0,56064	0,00503	7,76609×10 ⁶	61235,48561	0,99579
3	-568,76844	680,78793	108,03928	0,50408	0,52378	0,00365	2,47887×10 ⁷	147281,62093	0,99735

Para todas as concentrações de NaCl usadas tem-se os valores de concentração de partículas *versus* diâmetro obtidos pelo SMPS, bem como o ajuste lognormal. A Figura 5.9 mostra o resultado das 5 concentrações da solução de sal usadas (0,1; 0,5; 1; 2 e 3 g/L) no atomizador comercial acoplado ao SMPS do DEQ/UFSCAR e o resultado das 5 curvas sobrepostas.

Pela análise da Figura 5.9, pode ser verificado que quanto maior a concentração da solução a ser atomizada, maior a concentração de partículas no aerossol formado e maior o diâmetro das partículas formadas, evidenciado pelo deslocamento das curvas de maior concentração para a direita, conforme mostrado nos gráficos da Figura 5.9.

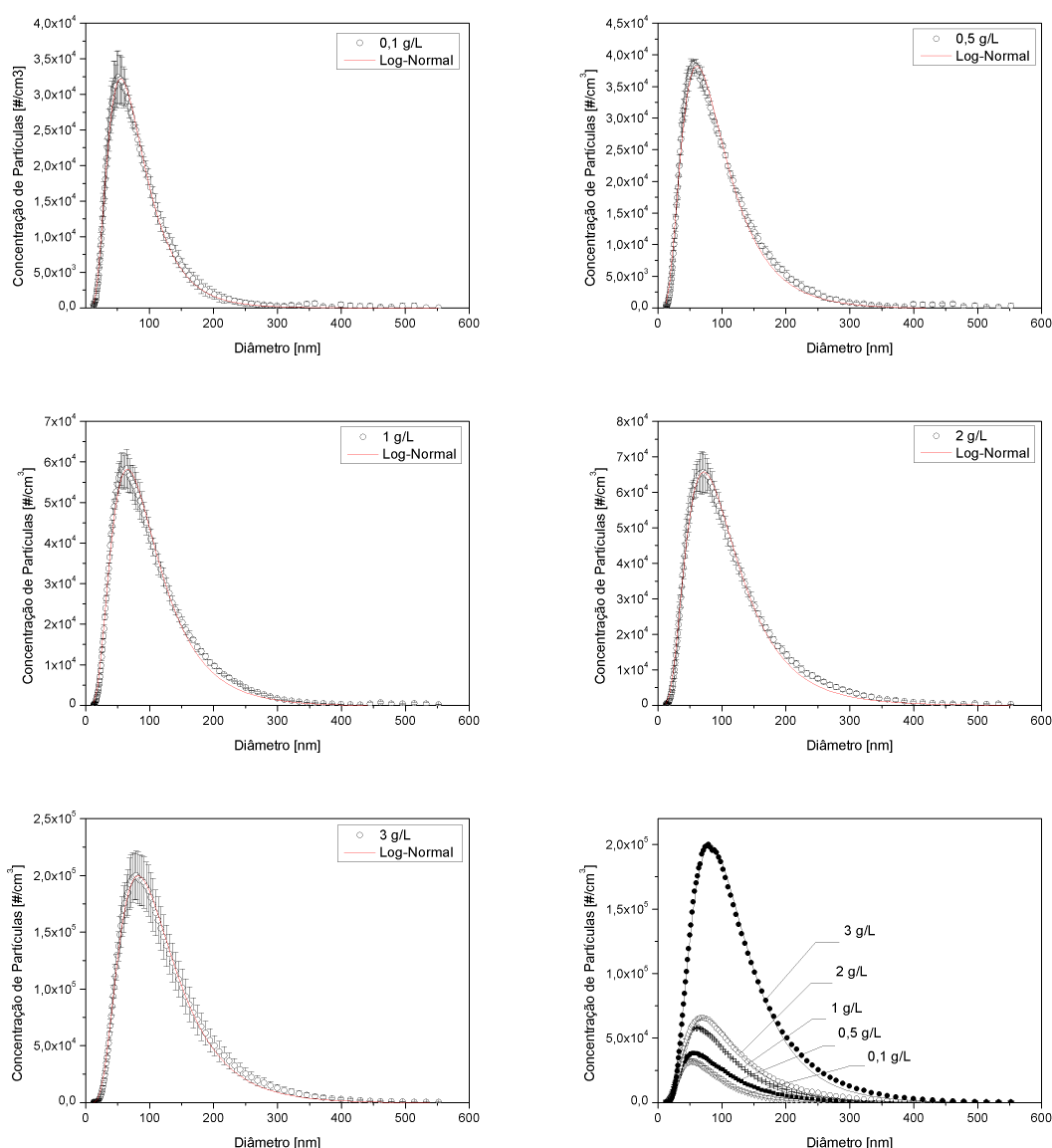


Figura 5.9: Resultados experimentais com os respectivos ajustes para cada concentração salina usada no SMPS

5.5 Estudo do comportamento do DMA empregando o atomizador comercial

5.5.1 Vazão de partículas monodispersas ou aerossol classificado

Para verificar a eficiência de classificação do DMA projetado e construído na FE-QUI/UFU foram realizados ensaios para as 5 diferentes concentrações (0,1; 0,5; 1; 2 e 3 g/L), as mesmas soluções usadas no DEQ/UFSCAR.

A equação selecionada para representar os dados experimentais da corrente mono-

dispersa do DMA foi obtida no *software* Origin e é idêntica à anterior, considerando 3 condições básicas: r^2 , menor número de parâmetros e resíduo. A equação obtida bem como os valores dos parâmetros para cada concentração, estes dispostos na Tabela 5.3, são expressos por:

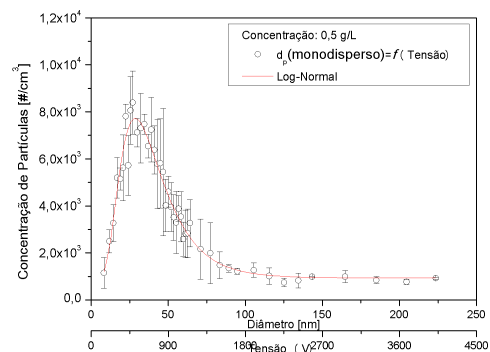
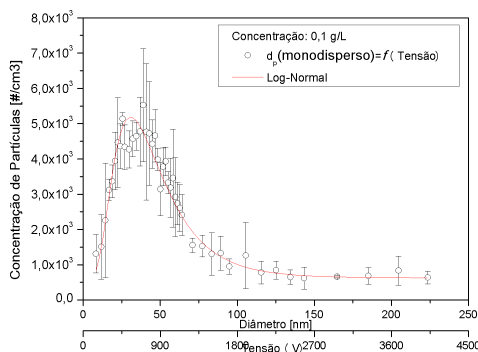
$$y = y_0 + \frac{A}{\sqrt{2\pi}wx} \frac{\exp(-\ln \frac{x}{xc})^2}{2w^2} \quad (5.2)$$

Tabela 5.3: Valores das constantes para a Equação (5.2)

Conc. NaCl g/L	Valores das constantes para cada equação								
	y_0 #/cm ³	Erro y_0	xc #/cm ³	Erro xc	w #/cm ³	Erro w	A #/cm ³	Erro A	r^2
0,1	625,56893	26,71506	40,75671	0,72507	0,52848	0,01894	$2,13907 \times 10^5$	5809,34799	0,98289
0,5	934,07763	16,94042	36,27804	0,57651	0,48827	0,01307	$2,67727 \times 10^5$	6879,52412	0,98099
1	1255,77964	188,97494	42,49732	0,99743	0,52937	0,02982	$5,34197 \times 10^5$	20165,01491	0,95312
2	1202,75317	138,08016	56,69553	0,92701	0,57775	0,01359	$1,48710 \times 10^6$	35157,34725	0,98112
3	1393,64742	314,47832	52,13531	1,18187	0,60879	0,01794	$2,35962 \times 10^6$	76592,31000	0,97946

A Figura 5.10 mostra o resultado das 5 concentrações da solução de sal usadas (0,1; 0,5; 1; 2 e 3 g/L) no atomizador comercial com o DMA projetado e construído na FE-QUI/UFU, bem como as 5 curvas sobrepostas. Conforme já verificado em outros trabalhos, se a concentração da solução salina aumenta, os picos de distribuição de tamanho de partículas se tornam mais altos (em virtude da maior concentração de nanopartículas no aerossol) e mais deslocados para a direita. Isto também pode ser atribuído ao fato de soluções mais concentradas gerarem partículas no aerossol de maior diâmetro.

Para todas as concentrações de NaCl usadas tem-se os valores de concentração de partículas *versus* diâmetro obtidos pelo DMA, bem como o ajuste lognormal. Como a saída da fonte de alta tensão é negativa, espera-se que todas as partículas positivas de carga +1 menores do que d_p^* (na fenda), ou de maior Z_p , sejam atraídas pelo eletrodo central; enquanto as partículas positivas de carga +1 e diâmetro d_p^* sejam coletadas na corrente monodispersa. Vale ressaltar que cada ponto no gráfico corresponde à média de 3 resultados experimentais com o respectivo desvio, e cada ponto representa uma corrente de aerossol monodisperso gerada naquele valor de tensão (d_p).



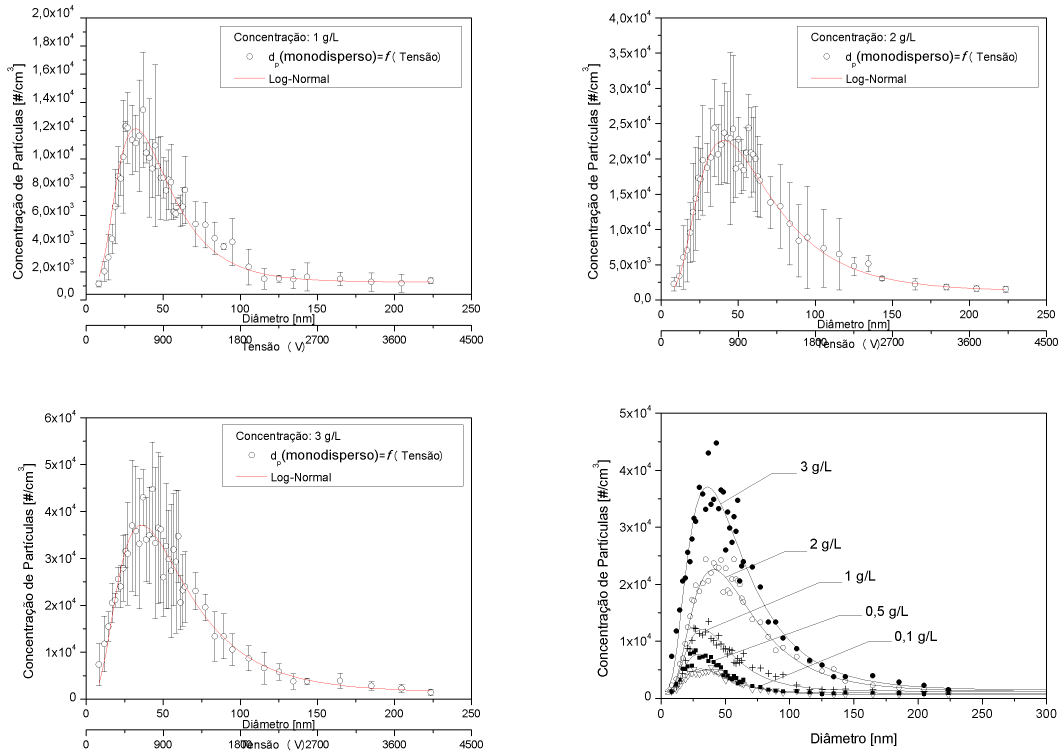


Figura 5.10: Resultados experimentais com os respectivos ajustes para cada concentração salina usada na corrente monodispersa do DMA

5.5.2 Vazão de excesso ou vazão de partículas não classificadas

Para verificar o comportamento da distribuição de partículas que não seria de interesse, esta corrente também foi amostrada, conforme ilustra a Figura 5.11. Como a saída da fonte de alta tensão é negativa, espera-se que todas as partículas negativas sejam repelidas pelo eletrodo central e fiquem retidas na parede. As partículas neutras e as partículas positivas maiores que d_p^* estarão presentes na corrente de excesso. O ajuste dos dados foi realizado através do *software* tbc2D considerando 3 condições básicas: r^2 , menor número de parâmetros e resíduo. Para as mesmas concentrações, a equação selecionada para representar os dados experimentais da corrente de excesso bem como os valores dos parâmetros para cada concentração, estes dispostos na Tabela 5.4, são expressos por:

$$y = \frac{a + b}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^d} \quad (5.3)$$

Tabela 5.4: Valores das constantes para a Equação (5.3)

Conc. NaCl g/L	Valores das constantes para cada equação				
	a #/cm ³	b #/cm ³	c #/cm ³	d #/cm ³	r ²
0,1	34817,80	61018,31	4,394	0,731	0,8554
0,5	54280,06	20226,57	24,733	3,188	0,7901
1	78778,48	37637,95	35,165	3,525	0,9179
2	103424,70	34680,75	20,786	1,075	0,5415
3	110062,20	45303,16	44,703	2,369	0,8871

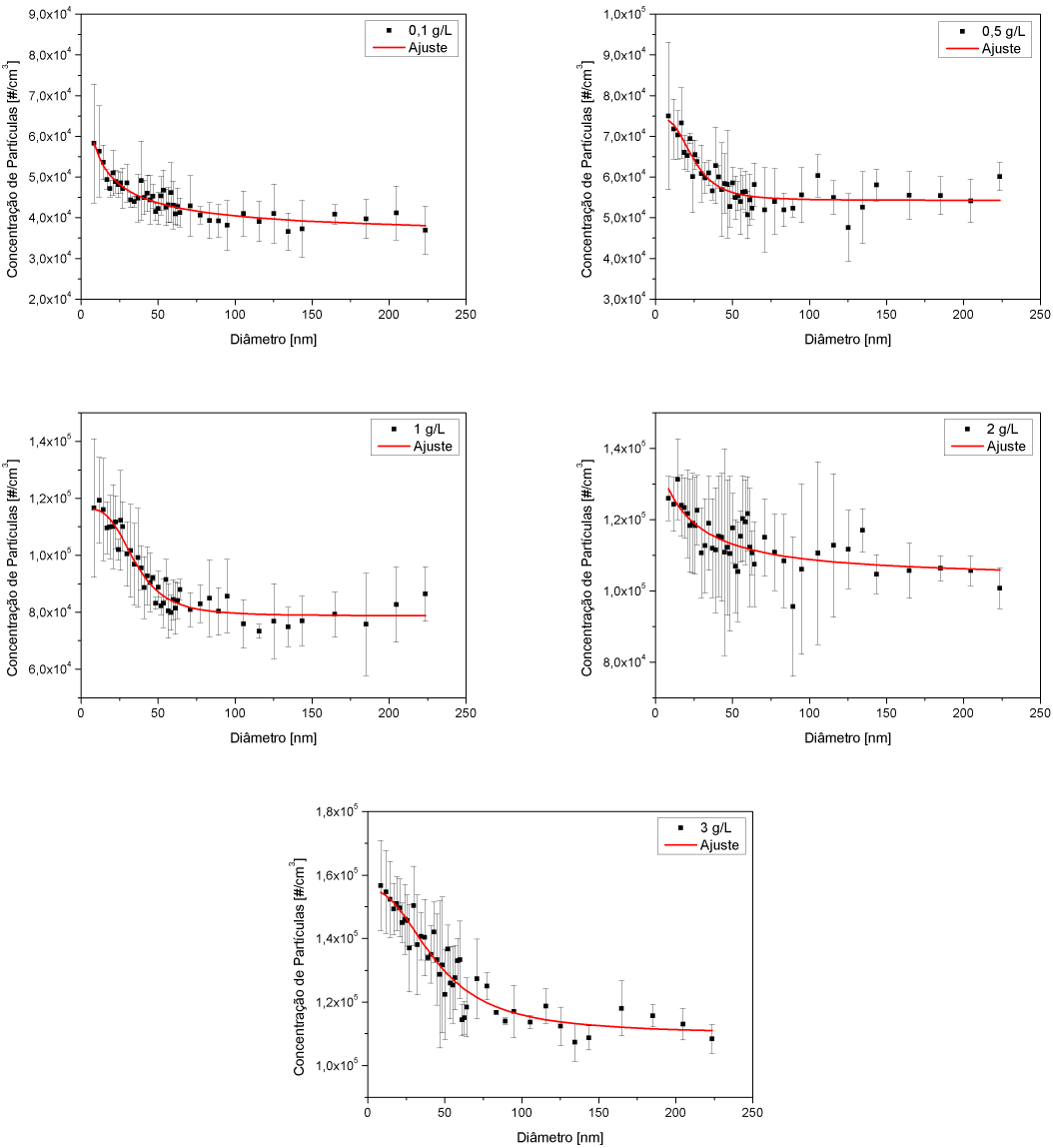


Figura 5.11: Resultados experimentais com os respectivos ajustes para cada concentração salina usada na corrente de excesso do DMA

5.6 Análise do balanço de distribuição de cargas

A Figura 5.12 apresenta como ocorre a separação de partículas por mobilidade elétrica. Para produzir um modelo que represente os aerossóis monodispersos em toda a faixa de

para a aplicação das hipóteses simplificadoras:

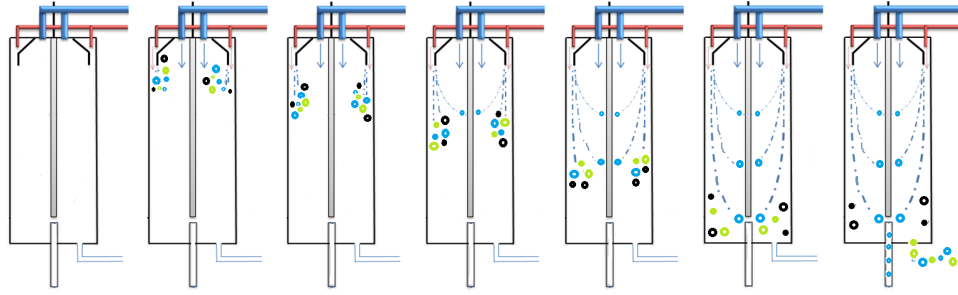
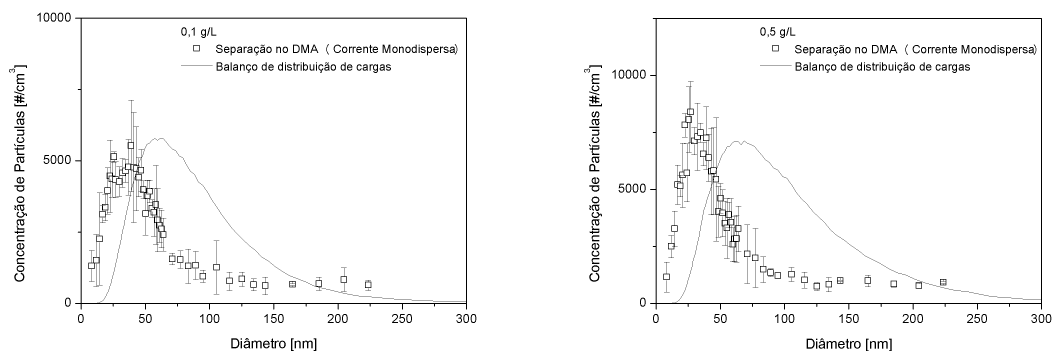


Figura 5.12: Classificação de nanopartículas por mobilidade elétrica, onde as esferas azuis correspondem às nanopartículas com cargas positivas, as esferas verdes às nanopartículas neutras e as esferas pretas às nanopartículas com cargas negativas

- todas as partículas positivas de um mesmo tamanho e mesmo número de cargas são atraídas simultaneamente;
- todas as partículas positivas menores que d_p^* (corrente monodispersa) são coletadas no eletrodo;
- todas as partículas com carga $n=+1$ e iguais a d_p^* são separadas na corrente de partículas monodispersas;
- todas as partículas com carga $n=+1$ maiores que d_p^* vão para a corrente de excesso;
- não há perdas de massa por vazamento;
- não há desprendimento de partículas (rugosidade do tubo $\gg d_p$);
- todas as partículas negativas ficam presas na parede do tubo externo (para-raios).

A Figura 5.13 mostra a comparação do Balanço de Distribuição de Cargas com os resultados experimentais para cada concentração salina utilizada na corrente monodispersa.



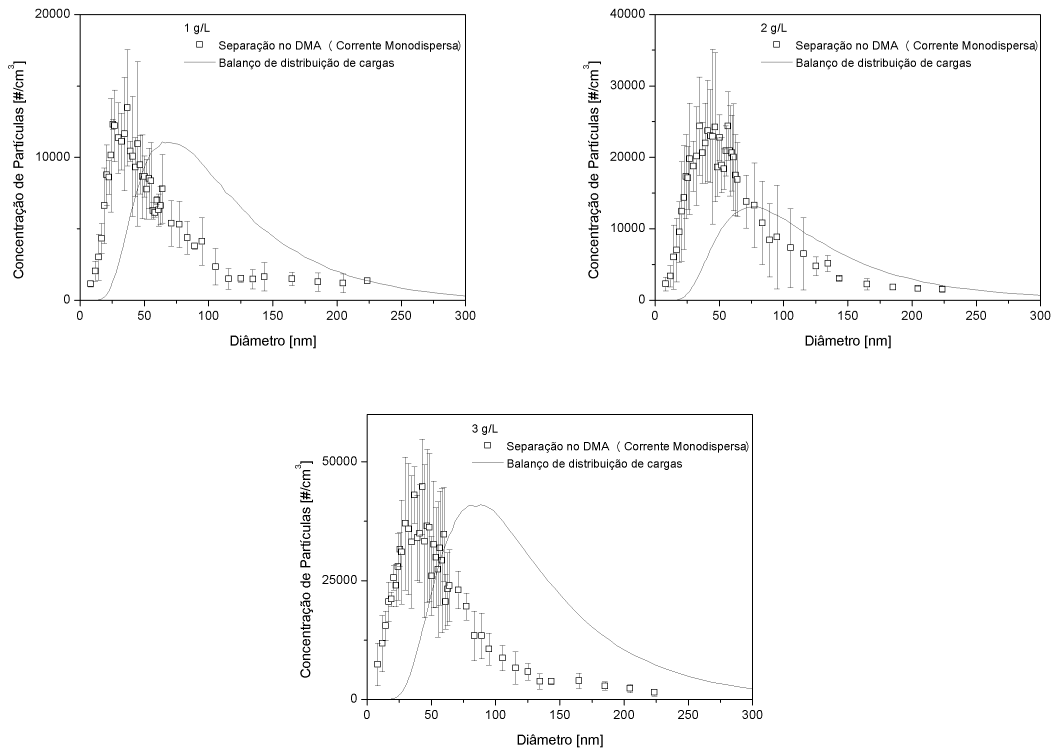


Figura 5.13: Comparação do Balanço de Distribuição de Cargas com os resultados experimentais para cada concentração salina utilizada na corrente monodispersa

As nanopartículas de diferentes tamanhos e cargas elétricas entram no classificador pelo topo rente à parede interna do cilindro externo, e o ar de diluição ou invólucro entra também pelo topo circundando o eletrodo interno. Se uma tensão negativa de 20 V é aplicada, por exemplo, um diâmetro médio de partícula igual a 11,8 nm será coletado na fenda de classificação. Todas as partículas positivas de mobilidade elétrica maiores que a mobilidade elétrica das partículas que entram na fenda de classificação ($d_p < 11,8$ nm) ficarão retidas no eletrodo. As demais partículas positivas de menor mobilidade elétrica ($d_p > 11,8$ nm) sairão, juntamente com as partículas neutras, na corrente de excesso ou de partículas não classificadas, enquanto as partículas negativas repelidas pelo campo elétrico ficarão presas na parede do tubo externo.

Já para o caso em que uma tensão de 4000 V é aplicada no eletrodo interno (limite máximo de tensão utilizada neste estudo), um diâmetro médio de partícula igual a 223,6 nm será coletado na fenda de classificação, mas haverá diâmetros de partículas maiores com cargas elétricas maiores que serão coletados exatamente com a mesma mobilidade elétrica. Como a proporção destes últimos é pequena em relação ao primeiro diâmetro, o aerossol classificado continua sendo monodisperso. Todas as partículas que possuírem mobilidade elétrica maior do que a das partículas coletadas na fenda de classificação ficarão retidas no eletrodo central (em virtude da alta tensão mais partículas ficarão aderidas no

eletrodo), enquanto as partículas com mobilidade elétrica menor do que as partículas que são classificadas saíram na corrente de excesso (em menor número) juntamente com as partículas neutras, e as partículas negativas repelidas pelo campo elétrico ficarão presas na parede do tubo externo.

A curva do balanço para a corrente monodispersa foi feita no *software* Origin e para a curva do balanço da corrente de excesso foi utilizado o *software* tbc2D. A Figura 5.14 mostra a comparação do Balanço de Distribuição de Cargas com os resultados experimentais para cada concentração salina utilizada na corrente de excesso.

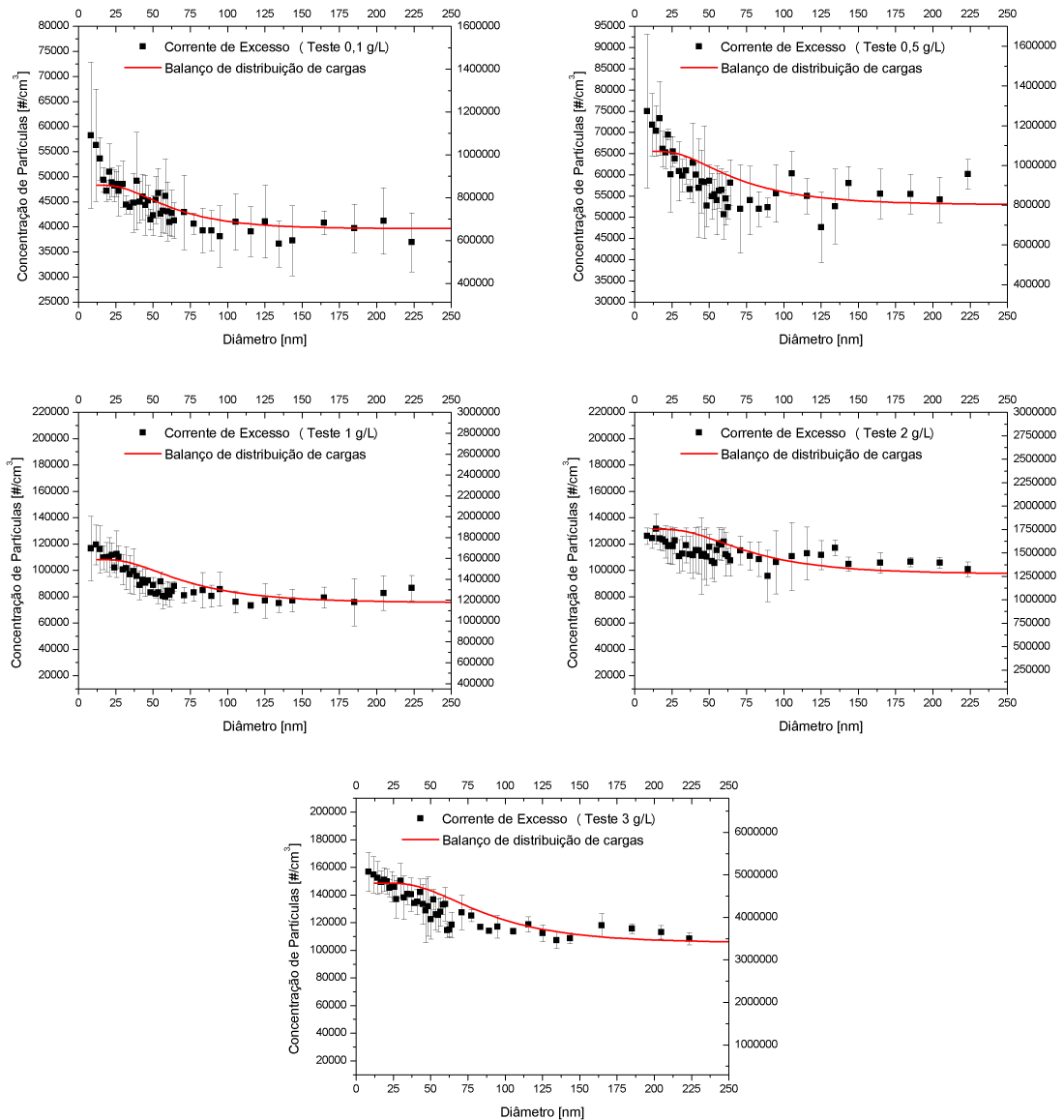


Figura 5.14: Comparação do Balanço de Distribuição de Cargas com os resultados experimentais para cada concentração salina utilizada na corrente de excesso

O balanço de distribuição de cargas foi realizado para cada valor de tensão usado. Este balanço considera a entrada total de partículas em cada tensão [$V=f(d_p)$] dada pelo

SMPS, que é multiplicada pela porcentagem de distribuição de cargas para determinado diâmetro [$d_p=f(V)$] baseado na distribuição de cargas proposta por Wiedensohler (1988). Considerando a teoria da mobilidade elétrica, são contabilizadas na corrente de aerossol monodisperso, para cada tensão, todas as partículas de determinado diâmetro e carga $+1$. Já na corrente de excesso são contabilizadas todas as partículas neutras e positivas de mobilidade elétrica inferior, para cada tensão. Todas as partículas negativas na classificação, devido à força de repulsão exercida pelo campo elétrico, tendem a ficar presas nas paredes do classificador e portanto não são consideradas no balanço em ambas as correntes.

O balanço de distribuição de cargas proposto para a corrente monodispersa representa bem quantitativamente os resultados experimentais, porém encontra-se deslocado para a direita em relação a estes, sugerindo que alguma consideração pode não ter sido feita no balanço proposto ou que os instrumentos de medição usados não tiveram a precisão requerida para o estudo de nanopartículas. De maneira contrária, o balanço de distribuição de cargas proposto para a corrente de excesso representa bem qualitativamente os resultados, mas não quantitativamente. Esta diferença significativa na quantidade de partículas pode ser devido a alguma consideração que não tenha sido feita no balanço proposto, ou atribuída ao fato de os instrumentos de medição usados não terem a precisão requerida para o estudo de nanopartículas.

5.7 Dificuldades do projeto

Como em qualquer projeto, desde a elaboração do equipamento até o funcionamento efetivo do mesmo, muitas foram as dificuldades encontradas. Abaixo encontram-se listados alguns pontos relevantes para a operação da unidade de classificação de nanopartículas:

- Após a etapa de construção do DMA foi necessário montar a unidade de classificação de nanopartículas. A etapa de fixar as vazões foi extremamente complexa, visto que todas as correntes de ar estavam interligadas e, alterar a vazão de uma delas implicava necessariamente em modificar a vazão de outra, mesmo que não fosse desejado. Isto ficou evidente quando não se conseguiu nivelar a vazão de entrada de aerossol polidisperso no valor desejado. A vazão de ar de diluição ou invólucro, por entrar em uma proporção maior, dificultava a entrada do aerossol polidisperso, e foi necessário um incremento na pressão (vazão) deste para que conseguisse entrar no DMA com a vazão necessária. Este fato justificou o uso do mini compressor na unidade;
- Quando se iniciaram os ensaios na unidade de classificação de nanopartículas, não haviam indícios de que a classificação de nanopartículas estava ocorrendo. Através

dos resultados era possível perceber a mistura turbulenta de ambas as correntes de entrada, o que não favorecia a classificação. Foi necessário alterar a geometria interna do equipamento para que este funcionasse adequadamente;

- No decorrer dos experimentos, notou-se uma flutuação significativa nos dados de entrada do aerossol polidisperso, o que não era adequado para a classificação pretendida. Atribuiu-se a este fato um possível excesso de umidade no aerossol polidisperso gerado, verificado pelo gotejamento de água na entrada do secador de difusão. Com a instalação de um purgador logo após a saída do atomizador comercial conseguiu-se sanar o problema, resultando no fim do gotejamento na linha e dados de entrada praticamente constantes;
- A sílica gel contida no secador de difusão atingia o seu ponto de saturação em algumas horas de ensaio, e o mecanismo de secagem e troca da sílica, por se tratar de um grande volume empregado, por muitas vezes se tornava pouco prático.

CAPÍTULO 6

Considerações finais



STE capítulo apresenta as principais considerações finais referentes ao estudo de mobilidade elétrica e sua aplicabilidade na classificação de nanopartículas empregando o DMA.

- Foi projetado e construído um equipamento com o objetivo de produzir amostras monodispersas de nanopartículas, utilizando o conceito de mobilidade elétrica (DMA), experimentos demonstraram que este equipamento foi capaz de produzir correntes monodispersas;
- Em testes com o DMA utilizando o atomizador comercial ficou demonstrada que a concentração de partículas aumenta com o aumento da concentração salina utilizada. Além disso, observou-se que o gerador produz uma concentração uniforme de nanopartículas com o tempo;
- Os testes com 5 concentrações de nanopartículas polidispersas em aerossóis realizadas no DMA projetado e construído na FEQUI/UFU, utilizando um atomizador comercial, mostraram a capacidade de classificação de nanopartículas deste equipamento.
- O balanço de distribuição de cargas para as diversas correntes monodispersas representa bem, quantitativamente, os resultados. Entretanto, aparece deslocada para a direita, sugerindo que alguma consideração pode não ter sido feita no balanço proposto ou que os instrumentos de medição usados não tiveram a precisão requerida para o estudo de nanopartículas.

- O balanço de distribuição de cargas para a corrente de excesso descreve bem os dados experimentais de forma qualitativa, mas apresenta diferenças razoáveis na quantidade de partículas, podendo ser atribuído o erro aos mesmos motivos citados anteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADACHI, M.; DAVID, F. J.; PUI, D. Y. H. High-efficiency unipolar aerosol charger using a radioactive alpha source. *Journal of Aerosol Science*, v. 23, p. 123–137, 1992.
- ADACHI, M.; KOUSAKA, Y.; OKUYAMA, K. Unipolar and bipolar diffusion charging of ultrafine aerosol particles. *Journal of Aerosol Science*, v. 16, p. 109–123, 1985.
- AITKEN, R. J.; CREELY, K. S.; TRAN, C. L. Nanoparticles: an occupational hygiene review. *Research Report - Institute of Occupational Medicine*, v. 274, 2004.
- ALLEY, E. R. *Air Quality Control Handbook*. New York: [s.n.], 1998.
- AMARAL, C. D. *Estudo da geração de nanopartículas a partir da atomização de soluções de cloreto de sódio*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2010.
- ARENDT, P.; KALLMAN, H. The mechanism of charging of mist particles. *Zeitschrift für Physik*, v. 35, p. 421–441 (In German), 1925.
- ASSUMPÇÃO, L. F. J. *Manual prático para implementação de SGA e Certificação de ISO 14.001*. 3ª. ed. [S.l.], 2006.
- K. J. Baumgard e D. B. Kittelson. *The influence of a ceramic particle trap on the size distribution of Diesel particles*. 1985. SAE 85009.
- BEARD, K. V. Terminal velocity and shape of cloud and precipitation drops aloft. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 33, p. 851–864, 1976.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. *Transport Phenomena*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2002.
- BISKOS, G. *Theoretical and Experimental Investigation of the Differential Mobility Spectrometer*. Tese (Doutorado) — Universidade de Cambridge, 2004.
- BISKOS, G.; REAVELL, K.; COLLINGS, N. Description and theoretical analysis of a differential mobility spectrometer. *Aerosol Science and Technology*, v. 39, p. 527–541, 2005.

- BOISDRON, K.; BROCK, J. R. On the stochastic nature of the acquisition of electrical charge and radioactivity by aerosol particles. *Atmospheric Environment*, v. 4, p. 35–50, 1970.
- BRICARD, J. L'equilibre ionique de la basse atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, v. 54, p. 39–52 (In French), 1949.
- BRIMILI, W. et al. Determination of differential mobility analyzer transfer function using identical instruments in series. *Journal of Aerosol Science*, v. 27, p. 215–223, 1997.
- BROCK, J. R. Aerosol charging: The role of image force. *Journal of Applied Physics*, v. 41, p. 843–844, 1969.
- BROCK, J. R. Unipolar diffusion charging of aerosols and the image force. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 33, p. 473–474, 1970.
- CETESB. outubro 2008. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>.
- CHANG, J. S. Theory of diffusion charging of arbitrary shaped conductive aerosol particles by unipolar ions. *Journal of Aerosol Science*, v. 12, p. 19–26, 1981.
- CHAPMAN, S. Carrier mobility spectra of spray electrified liquids. *Physical Review*, v. 52, p. 184–190, 1937.
- CHAPMAN, S.; COWLING, T. G. The mathematical theory of non-uniform gases. *Impresso da Universidade de Cambridge*, 1990.
- CHEN, D.; PUI, D. Numerical modeling of the performance of differential mobility analyzers for nanometer aerosol measurement. *Journal of Aerosol Science*, v. 28(6), p. 985–1004, 1997.
- CHEN, D. R. et al. Nanometer differential mobility analyzer: design and numerical modeling. *AAAR Orlando, FL*, 1996.
- CHEN, D. R. et al. Design and evaluation of a nanometer aerosol differential mobility analyzer (nano-dma). *Journal of Aerosol Science*, v. 29(5/6), p. 497–509, 1998.
- CLEMENT, C. F.; HARRISON, R. G. Charge distributions on aerosols. *Proceedings of the 8th International Conference of Electrostatics*, v. 118, p. 275–280, 1991.
- DAVIES, C. N.; EGILMEZ, N. The nolan-pollak condensation nucleus counter. *Journal of Aerosol Science*, v. 16(3), p. 245–259, 1985.
- DAVIES, R. Particle science and technology - a view at the millennium. *Powder Technology*, v. 119, p. 45–57, 2001.
- ENGLERT, N. Fine particles and human health - a review of epidemiological studies. *Toxicology Letters*, v. 149, p. 235–242, 2004.
- ERIKSON, H. A. Size and aging of ions produced in air. *Physical Review*, v. 17, p. 400, 1921.
- ERIKSON, H. A. On the nature of the negative and positive ions in air, oxygen and nitrogen. *Physical Review*, v. 20(2), p. 117–126, 1922.

- ERIKSON, H. A. On the effect of the medium on gas ion mobility. *Physical Review*, v. 30, p. 339–347, 1927.
- FALAGUASTA, M. C. R. *Estudo do desempenho de um precipitador eletrostático operando na captura de partículas submicrométricas e nanométricas*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2005.
- FEITOSA, N. R. *Desempenho de meios filtrantes na remoção de partículas nanométricas de aerossóis*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2009.
- FIERZ, M.; SCHERRER, L.; BURTSCHER, H. Real-time measurement of aerosol size distributions with an electrical diffusion battery. *Journal of Aerosol Science*, v. 33, p. 1049–1060, 2002.
- FISSAN, H.; HELSPER, C.; THIELEN, H. Determination of particle size distributions by means of an electrostatic classifier. *Journal of Aerosol Science*, v. 14, p. 354–357, 1983.
- FISSAN, H. et al. Experimental comparison of four differential mobility analyzers for nanometer aerosol measurements. *Aerosol Science and Technology*, v. 24, p. 1–13, 1996.
- FLAGAN, R. On differential mobility analyzer resolution. *Aerosol Science and Technology*, v. 30, p. 556–570, 1999.
- FRIEDLANDER, S. K.; PUI, D. Y. H. Emerging issues in nanoparticle aerosol science and technology. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 6, p. 313–320, 2004.
- FUCHS, N. A. On the charging of particles in atmospheric aerosols. *Izvestiia Akademii Nauk SSSR. Serii Geograficheskaya i Geofizicheskaya*, v. 11, p. 341–348 (In Russian), 1947.
- FUCHS, N. A. On the stationary charge distribution on aerosol particles in a bipolar ionic atmosphere. *Geofísica Pura e Aplicata*, v. 56, p. 185–193, 1963.
- FUCHS, N. A. *The Mechanics of Aerosols*. [S.l.: s.n.], 1964.
- FUCHS, N. A.; LISSOWSKI, P. The charging of aerosols by ionic diffusion. *Journal of Colloid & Interface Science*, v. 11, p. 107–108, 1956.
- G1. julho 2012.
- GENTRY, J. W. Charging of aerosol by unipolar diffusion of ions. *Journal of Aerosol Science*, v. 3, p. 65–76, 1972.
- GENTRY, J. W.; BROCK, J. R. Unipolar diffusion charging of small aerosol particles. *Journal of Chemical Physics*, v. 47, p. 64–69, 1967.
- GÄGGELER, H. W. et al. The epiphaniometer, a new device for continuous aerosol monitoring. *Journal of Aerosol Science*, v. 20, p. 557–564, 1989.
- GRASKOW, B. *Design and development of a fast aerosol size spectrometer*. Tese (Doutorado) — University of Cambridge, UK., 2001.

- GUNN, R. Diffusion charging of atmospheric droplets by ions, and the resulting combination coefficients. *Journal of Meteorology*, v. 11, p. 339–347, 1954.
- GUNN, R. The statistical electrification of aerosols by ionic diffusion. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 10, p. 107–119, 1955.
- HAAF, W. Accurate measurements of aerosol size distribution - ii. construction of a new plate condenser electric mobility analyzer and first results. *Journal of Aerosol Science*, v. 11, p. 201–212, 1980.
- HEWITT, G. The charging of small particles for electrostatic precipitation. *American Institute of Electrical Engineers Transactions*, v. 76, p. 300–306, 1957.
- HIDY, W. M.; BROCK, J. R. The dynamics of aerocolloidal systems. *Pergamon Press*, v. 1st edition, p. 379, 1970.
- HINDS, W. C. *Aerosol Technology Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*. [S.l.: s.n.], 1999.
- HOPPEL, W. Determination of the aerosol size distribution from the mobility distribution of the charged fraction of aerosols. *Journal of Aerosol Science*, v. 9, p. 41–54, 1978.
- HOPPEL, W. A.; FRICK, G. M. Ion-aerosol attachment coefficients and the steady-state charge distribution on aerosols in a bipolar ion environment. *Aerosol Science and Technology*, v. 5, p. 1–21, 1986.
- HUANG, D. D.; SEINFELD, J. H. On the relation between binary diffusivity and mean free path. *Journal of Colloid & Interface Science*, v. 125, p. 733–735, 1988.
- HUANG, D. D.; SEINFELD, J. H.; MARLOW, W. H. Bkg equation solution of coagulation for large knudsen number aerosols with a singular attractive contact potential. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 140, p. 258–276, 1990.
- HUANG, H. L.; HUANG, Y. C.; WANG, D. M. Aerosol filtration efficiency nonwoven filter improved by polysulfone membrane. In: *Abstracts of the European Aerosol Conference*. [S.l.: s.n.], 2004. p. S 779–S780.
- HUERTAS, M. L.; MARTY, A. M.; FONTAN, J. On the nature of positive ions of tropospheric interest and on the effect of polluting organic vapors. *Journal of Geophysical Research*, v. 79, p. 1737–1743, 1974.
- HUERTAS, M. L. et al. Measurement of mobility and mass of atmospheric ions. *Journal of Aerosol Science*, v. 2, p. 145–150, 1971.
- INTRA, P. *Aerosol size measurement using electrical mobility technique*. Tese (Doutorado) — Chiang Mai University, Thailand, 2006.
- INTRA, P.; TIPPAYAWONG, N. An electrical mobility spectrometer for aerosol size distribution measurement. In: *Proceedings of International Conference on Technology and Innovation for Sustainable Development, Khon Kaen, Thailand*, . [S.l.: s.n.], 2006 b.

- INTRA, P.; TIPPAYAWONG, N. Aerosol size distribution measurement using multi-channel electrical mobility sensor. *Journal of Aerosol Research Japan*, v. 21, p. 329–340, 2006a.
- INTRA, P.; TIPPAYAWONG, N. Analysis of brownian diffusion effect on nanometer aerosol classification in electrical mobility spectrometer. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineering*, 2008.
- ISO. *Occupational ultrafine aerosol exposure characterization and assessment*. [S.l.], 2004. Particle size selective sampling and analysis (workplace air quality) ISO/TC146/SC2WG1.
- JOHN, A. C. et al. Size-fractional sampling and chemical analysis by total reflection x-ray fluorescence spectrometry of pmx in ambient air and emissions. *Spectrochimica Acta Part B*, v. 56, p. 2137–2146, 2001.
- JOHNSON, T. et al. An engine exhaust particle sizer spectrometer for transient emission particle measurements. In: *7th ETH Conference on Combustion Generated Particles*. [S.l.: s.n.], 2003.
- JUAN, L. de; MORA, J. Fernandez de la. High resolution size-analysis of nanoparticles and ions: Running a dma of near optimal length at reynolds numbers up to 5000. *Journal of Aerosol Science*, v. 29(7), p. 617–626, 1998.
- KARLSSON, M.; MARTINSSON, B. Methods to measure and predict the transfer function size dependence of individual dmas. *Journal of Aerosol Science*, v. 34, p. 603–625, 2003.
- KASPER, G.; SHAW, D. T. Comparison size distribution measurements on chain aggregates. *Aerosol Science and Technology*, v. 2, p. 369–381, 1983.
- M. Kasper, U. Matter e H. Burtscher. *NanoMet: On-line characterization of nanoparticle size compstion*. 2000. SAE-2000-01-1998.
- KEADY, P.; QUANT, F.; SEM, G. Differential mobility particle sizer: a new instrument for high-resolution aerosol size distribution measurement below 1 μm . *TSI Quarterly*, v. 9(2), p. 3–11, 1983.
- KEEFE, D.; NOLAN, P.; RICH, T. Charge equilibrium in aerosols according to the boltzmann law. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, v. 60-A, p. 27–45, 1959.
- KEEFE, D.; NOLAN, P. J. Combination coefficients of ions and nuclei. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, v. 62, p. 43–53, 1962.
- KEEFE, D.; NOLAN, P. J.; SCOTT, J. A. Influence of coulomb and image forces on combination in aerosols. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, v. 66, p. 17–29, 1968.
- KESKINEN, J.; PIETARINEN, K.; LEHTIMÄKI, M. Electrical low pressure impactor. *Journal of Aerosol Science*, v. 23, p. 353–360, 1992.
- KILPATRICK, W. D. An experimental mass-mobility relation for ion in air at atmospheric pressure. In: *19th Annual Conference on Mass Spectrometry & Allied Topics*. [S.l.: s.n.], 1971.

- KIRSCH, A. A.; ZAGNIT'KO, A. V. Diffusion charging of submicrometer aerosol particles by unipolar ions. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 80, p. 111–117, 1981.
- KNUTSON, E.; WHITBY, K. Aerosol classification by electric mobility : apparatus, theory, and applications. *Journal of Aerosol Science*, v. 6, p. 443–451, 1975.
- KNUTSON, E. O. *Fine Particles: Aerosol Generation, Measurement, and Sampling*. [S.l.: s.n.], 1976.
- KOUSAKA, Y.; OKUYAMA, K.; ADACHI, M. Determination of particle size distribution of ultrafine aerosols using a differential mobility analyzer. *Aerosol Science and Technology*, v. 4(2), p. 209–225, 1985.
- KOUSAKA, Y. et al. Effect of brownian diffusion on electrical classification of ultrafine aerosol particles in differential mobility analyzer. *Journal of Chemical Engineering Japan*, v. 19, p. 401–407, 1986.
- KOYAMA, H. et al. Development of a large annular-type dma and evaluation of its classification property. *Journal of Aerosol Research Japan*, v. 22(1), p. 48–53, 2007.
- KUDO, A.; TAKAHASHI, K. A method of determining aerosol particle size distribution applying boltzmann's law. *Atmospheric Environment*, v. 6, p. 543–549, 1972.
- KUMAR, P. et al. A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls. *Atmospheric Environment*, v. 44, p. 5035–5052, 2010.
- LAFRAMBOISE, J. G.; CHANG, J. S. Theory of charge deposition on charged aerosol particles of arbitrary shape. *Journal of Aerosol Science*, v. 8, p. 331–338, 1977.
- LEE, K. W.; LIU, B. Y. H. On the minimum efficiency and the most penetrating particle size for fibrous filters. *Journal of the Air Pollution Control Association*, v. 30, n.4, p. 377–381, 1980.
- LEHTIMAKI, M. New current measuring technique for electrical aerosol analyzers. *Journal of Aerosol Science*, v. 18(4), p. 401–407, 1987.
- LI, L.; CHEN, D.-R. Performance study of a dc-corona-based particle charger for charge conditioning. *Aerosol Science*, v. 42, p. 87–99, 2011.
- LI, Z.; WANG, H. Drag force, diffusion coefficient, and electric mobility of small particles. i. theory applicable to the free-molecule regime. *Physical Review E, The American Physical Society*, v. 68, p. 061206–1–11, 2003a.
- LI, Z.; WANG, H. Drag force, diffusion coefficient, and electric mobility of small particles. ii. application. *Physical Review E*, v. 68, p. 061207–1–13, 2003b.
- LIANG, X. et al. Mercury and other trace elements removal characteristics of dc and pulse-energized electrostatic precipitator. *IEEE Transaction on Industry Applications*, v. 38, n° 1, p. 69–76, 2002.
- LIU, B.; PUI, D. Equilibrium bipolar charge distribution of aerosols. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 49, p. 305–312, 1974a.

- LIU, B.; PUI, D. A submicron aerosol standard and the primary, absolute calibration of the condensation nuclei counter. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 47, p. 155–171, 1974b.
- LIU, B.; PUI, D. Electrical neutralization of aerosols. *Journal of Aerosol Science*, v. 5, p. 465–472, 1974c.
- LIU, B.; PUI, D. On the performance of the electrical aerosol analyzer. *Journal of Aerosol Science*, v. 6, p. 249–264, 1975.
- LIU, B. Y. H.; PUI, D. Y. H. On unipolar diffusion charging of aerosols in the continuum regime. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 58, p. 142–149, 1977.
- LIU, B. Y. H.; WHITBY, K. T.; PUI, D. Y. H. A portable electrical analyzer for size distribution measurement of submicron aerosols. *Journal of the Air Pollution Control Association*, v. 24, p. 1067–1072, 1974.
- LIU, B. Y. H.; WHITBY, K. T.; YU, H. S. On the theory of charging of aerosol particles by unipolar ions in the absence of an applied electric field. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 23, p. 367–378, 1967.
- LÜÖND, F.; SCHLATTER, J. Improved monodispersity of size selected aerosol particles with a new charging and selection scheme for tandem dma setup. *Journal of Aerosol Science*, v. 62, p. 40–55, 2013.
- MARICQ, M. M.; PODSIADLIK, D. H.; CHASE, R. E. Size distributions of motor vehicle exhaust pm: A comparison between elpi and smps measurements. *Aerosol Science and Technology*, v. 33, p. 239–260, 2000.
- MARJAMÄKI, M. et al. Performance evaluation of the electrical low-pressure impactor (elpi). *Journal of Aerosol Science*, v. 31, p. 249–261, 2000.
- MARLOW, W.; BROCK, J. Calculations of bipolar charging of aerosols. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 51, p. 23–31, 1975b.
- MARLOW, W. H. Unipolar aerosol diffusion charging i. particle dielectric and ion mobility distribution effects. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 64, p. 543–548, 1978a.
- MARLOW, W. H. Unipolar aerosol diffusion charging ii. ion and aerosol polydisperities: the 'diffusion charging mobility analysis' hypothesis. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 64, p. 549–554, 1978b.
- MARLOW, W. H.; BROCK, J. R. Unipolar charging of small aerosol particles. *Journal of Colloid & Interface Science*, v. 50(1), p. 32–38, 1975.
- MARPLE, V. A.; RUBOW, K. L.; BEHM, S. M. A microorifice uniform deposit impactor (moudi): Description, calibration, and use. *Aerosol Science and Technology*, v. 14, p. 434–446, 1991.
- MARTINSSON, B. G.; KARLSSON, M. N. A.; FRANK, G. Methodology to estimate the transfer function of individual differential mobility analyzers. *Aerosol Science and Technology*, v. 35, p. 815–823, 2001.

- MEDVED, A. et al. A new corona-based charger for aerosol particles. *Journal of Aerosol Science*, v. 31, p. S616–S617, 2000.
- MEI, F.; FU, H.; CHEN, D.-R. A cost-effective differential mobility analyzer (cdma) for multiple dma column applications. *Journal of Aerosol Science*, v. 42, p. 462–473, 2011.
- MESBAH, B. et al. A new technique to measure the mobility size of ultrafine radioactive particles. *Aerosol Science and Technology*, v. 27, p. 381–393, 1997.
- MEYEROTT, R. E.; REAGAN, J. B. The mobility and concentration of ions and the ionic conductivity in the lower stratosphere. *Journal of Geophysical Research*, v. 85, p. 1273–1278, 1980.
- MIRME, A. *Electric aerosol spectrometry*. Tese (Doutorado) — University of Tartuensis, Tartu, Estonia, 1994.
- MIRME, S. *Development of nanometer aerosol measurement technology*. Dissertação (Mestrado) — University of Tartu, Estonia., 2011.
- MOHNEN, V. Formation, nature, and mobility of ions of atmospheric importance. *Proceedings of the 5th International Conference on Atmospheric Electricity*, p. 1–17, 1974.
- NATANSON, G. L. On the theory of the charging of a microscopic aerosol particles as a result of capture of gas ions. *Soviet Physics Technical Physics*, v. 5, p. 538–551, 1960.
- NOLAN, J. J.; GUERRINI, V. H. The diffusion coefficients and velocities of fall in air of atmospheric condensation nuclei. *Proceedings of the Royal Irish Society*, v. 43 A, p. 2–24, 1935.
- OBERDORSTER, G. et al. Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles. *Inhalation Toxicology*, v. 71, p. 111–124, 1995.
- OGLESBY, S. J.; NICHOLS, G. B. *Electrostatic Precipitation*. [S.l.]: Marcel Dekker Inc., 1978.
- PAUTHENIER, M. M.; MOREAUT-HANOT, M. M. Le charge des particules sphériques dans un champ ionisé. *Journal de Physique*, v. 7(3), p. 591–613 (In French), 1932.
- PREINING, O. The physical nature of very, very small particles and its impact on their behavior. *Journal Aerosol Science*, Vol. 29, n.5/6, p. 481–495, 1998.
- PUI, D. Y. H.; CHEN, D. R. Nanometer particles: a new frontier for multidisciplinary research. *Journal Aerosol Science*, v. 28, n. 4, p. 539 – 554, 1997.
- PUI, D. Y. H.; FRUIN, S.; MCMURRY, P. H. Unipolar diffusion charging of ultrafine aerosols. *Aerosol Science and Technology*, v. 8, p. 173–187, 1988.
- RICH, T.; POLLAK, L.; METNIEKS, A. Estimation of average size of submicron particles from the number of all and uncharged particles. *Geofisica Pura e Applicata*, v. 44, p. 233–241, 1959.

- RODRÍGUEZ, S.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X. A review of methods for long term in situ characterization of aerosol dust. *Aeolian Research*, v. 6, p. 55–74, 2012.
- ROHMANN, H. Methode zur messung der grösse von schwebeteilchen. *Zeitschrift für Physik*, v. 17, p. 253–265, 1923.
- ROSELL-LLOMPART, J. et al. Sizing nanoparticles and ions with a short differential mobility analyzer. *Journal of Aerosol Science*, v. 27(5), p. 695–719, 1996.
- ROSSER, S.; MORA, J. Fernandez de la. Vienna-type dma of high resolution and high flow rate. *Aerosol Science and Technology*, v. 39, p. 1191–1200, 2005.
- A. Schmidt-Ott e H. C. Siegmann. *Method for charging particles suspended in gases*. 1986. 4574004.
- SEINFELD, J. H. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. [S.l.: s.n.], 1986.
- SEOL, K.; YABUMOTO, J.; TAKEUCHI, K. A differential mobility analyzer with adjustable column length for wide particle size range measurements. *Journal of Aerosol Science*, v. 33, p. 1481–1492, 2002.
- SETO, T. et al. Size distribution measurement of nanometer-sized aerosol particles using dma under low-pressure conditions. *Journal of Aerosol Science*, v. 28(2), p. 193–206, 1997.
- SHIMADA, M. et al. Development of an ldma-fce system for the measurement of submicron aerosol particles. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, v. 38(1), p. 34–44, 2005.
- SINCLAIR, D.; HOOPES, G. S. A continuous flow condensation nucleus counter. *Journal of Aerosol Science*, v. 6, p. 1–7, 1975.
- STEFFENS, J. *Desempenho de filtros fibrosos operando na remoção de partículas nanométricas de aerossóis*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2007.
- STOLZENBURG, M. *An ultrafine aerosol size distribution measuring system*. Tese (Doutorado) — University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA, 1988.
- TAKAHASHI, K. Numerical verification of boltzmann's distribution for electrical charge of aerosol particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 35, p. 508–510, 1971.
- TAKAHASHI, K.; KUDO, A. Electrical charging of aerosol particles by bipolar ions in flow type charging vessels. *Journal of Aerosol Science*, v. 4, p. 209–216, 1973.
- TAKEBE, M. Positive ion species and their mobilities in air. *Japanese Journal of Applied Physics*, v. 13, p. 207–217, 1974.
- TAKEUCHI, K. et al. A new dual-type dma for measuring nanoparticles emitted from combustion engines. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 7, p. 287–293, 2005.
- TAMMET, H.; MIRE, A.; TAMM, E. Electrical aerosol spectrometer of tartu university. *Journal of Aerosol Science*, v. 29, p. S427–S428, 1998.

- TAMMET, H.; MIRME, A.; TAMM, E. Electrical aerosol spectrometer of tartu university. *Atmospheric Research*, v. 62, p. 315–324, 2002.
- TAMMET, H. F. The aspiration method for the determination of atmospheric-ion spectra. *Israel Program for Scientific Translations*, 1970.
- TOWNSEND, J. S. The diffusion of ions into gases. *Philosophical Transactions A*, v. 193, p. 129–158, 1899.
- UNGETHÜM, E. The mobilities of small ions in the atmosphere and their relationship. *Journal of Aerosol Science*, v. 5, p. 25–37, 1974.
- VIVAS, M. M. *Cargadores de Aerosoles Submicrométricos: Cargador Bipolar Radiactivo de Baja Actividad y Cargador Unipolar Corona*. Tese (Doutorado) — Universidad Carlos III de Madrid, 2007.
- VOHRA, K. G.; SUBBARAMU, M. C.; VASEDUVAM, K. N. *Nucleation of water cluster ions*. [S.l.], 1969.
- VOMELA, R. A.; WHITBY, K. T. The charging and mobility of chain aggregate smoke particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 25, p. 568–576, 1967.
- WANG, S.; FLAGAN, R. Scanning electrical mobility spectrometer. *Aerosol Science and Technology*, v. 13, p. 230–240, 1990.
- WEI, D.; SALAHUB, D. R. Hydrated proton clusters and solvent effects on the proton transfer barrier: A density function study. *Journal of Chemical Physics*, v. 101, p. 7633–7642, 1994.
- WEN, H. Y.; REISCHL, G. P.; KASPER, G. Bipolar diffusion charging of fibrous aerosol particles i. charging theory. *Journal of Aerosol Science*, v. 15, p. 89–101, 1984a.
- WEN, H. Y.; REISCHL, G. P.; KASPER, G. Bipolar diffusion charging of fibrous aerosol particles ii. charge and electrical mobility measurements on linear chain aggregates. *Journal of Aerosol Science*, v. 15, p. 103–122, 1984b.
- WHITBY, K.; PETERSON, C. Electrical neutralization and particle size measurement of dye aerosols. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, v. 4, p. 66–72, 1965.
- WHITBY, K. T.; CLARK. Electric aerosol particle counting and size distribution measuring system for the 0.015 to 1 um size range. *Tellus*, v. 18, p. 573–586, 1966.
- WHITE, H. J. Particle charging in electrostatic precipitation. *AIEE Transactions*, v. 70, p. 1186–1191, 1951.
- WHITE, H. J. *Electrostatic Precipitation*. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1963.
- WIEDENSOHLER, A. An approximation of the bipolar charge distribution for particles in the submicron size range. *Journal of Aerosol Science*, v. 19, p. 387–389, 1988.

- WIEDENSOHLER, A.; FISSAN, H. J. Bipolar charge distributions of aerosol particles in highpurity argon and nitrogen. *Aerosol Science and Technology*, v. 14, p. 358–364, 1991.
- WIKIPEDIA. junho 2012.
- WILLEKE, K. Temperature dependence of particle slip in a gaseous medium. *Journal of Aerosol Science*, v. 7, p. 381–387, 1976.
- WILLEKE, K.; BARON, P. A. *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications*. [S.l.]: John Wiley & Sons., 1993.
- WINKLMAYR, W. et al. A new electromobility spectrometer for the measurement of aerosol size distribution in the size range from 1 to 1000 nm. *Journal of Aerosol Science*, v. 22(3), p. 289–296, 1991.
- ZELENY, J. On the ratio of the velocities of the two ions produced in gases by rönthen radiation and on the related phenomena. *Philosophical Magazine*, v. 46, p. 120–154, 1898.
- ZELENY, J. The velocity of the ions produced in gases by rönthen rays. *Philosophical Transactions*, v. 195, p. 193–234, 1900.
- ZELENY, J. The distribution of mobilities of ions in moist air. *Physical Review*, v. 34, p. 310–334, 1929.
- ZHANG, S. H. et al. Radial differential mobility analyzer. *Aerosol Science and Technology*, v. 23(3), p. 357–372, 1995.
- ZHANG, S.-H.; FLAGAN, R. C. Resolution of the radial differential mobility analyzer for ultrafine particles. *Journal of Aerosol Science*, v. 27, p. 1179–1200, 1996.
- ZHIQIANG, Q. et al. Nanoparticle air pollution in major cities and its origin. *Atmospheric Environment*, v. 34, p. 443–451, 2000.