

AVALIAÇÃO DA HIDROFIBICIDADE NOS COMPÓSITOS DE BORRACHA DE SILICONE COM CARGAS DE ALUMINA TRIHIDRATADA E NANOSÍLICA PARA USO EM REVESTIMENTOS DE ISOLADORES ELÉTRICOS

Daniella Cibele Bezerra¹ Ignat Pérez Almirall², Edson Guedes da Costa³, Ana Cristina Figueiredo Melo Costa¹ e Edcleide Maria Araújo¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande – Departamento de Engenharia de Materiais, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-900

² Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Calle 127, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda Marianao, Ciudad de - La Habana, - Cuba - Caixa-postal: 19390

³ Universidade Federal de Campina Grande – Departamento de Engenharia de Elétrica, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-900

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar a hidrofobicidade dos compósitos de borracha de silicone vulcanizada à temperatura ambiente (RTV SR) com cargas de alumina trihidratada (ATH) e nanosílica (NS) na matriz polimérica borracha de silicone, visando à obtenção de compósitos de ATH/NS/RTV SR para revestimento de isoladores elétricos externos. Os compósitos foram caracterizados por: MEV, ensaio de névoa salina, medida de perda e recuperação da hidrofobicidade. Os compósitos apresentaram aglomerados de tamanhos variados e distribuição de partículas heterogêneas dentro da matriz RTV-SR. No ensaio de névoa salina os menores valores de corrente de fuga foi observado para o isolador com revestimento da cargas de ATH/NS. Na medida de perda e recuperação da hidrofobicidade o melhor resultado foi observado para isolador com carga de 20%ATH/1%NS/RTV SR.

Palavras-chave: compósitos, alumina trihidratada, nanosílica, borracha de silicone, hidrofobicidade.

INTRODUÇÃO

Isoladores são equipamentos fundamentais em todas as etapas de um sistema elétrico. De um modo geral, eles provêm sustentação para condutores e massas energizadas sem permitir que se estabeleça corrente elétrica significativa através de si. Todavia, é impossível realizar um isolamento ideal, de modo que sempre existirá uma corrente de fuga através dos isoladores. Esta corrente deve ser mantida dentro de certos limites, de forma a garantir o bom funcionamento do isolador e por consequência do sistema [1]. Os tipos de isoladores mais usados são os formados por materiais cerâmicos (incluem as porcelanas e o vidro) e os isoladores formados por polímeros (borracha de silicone, borracha de etileno-propileno-dieno monômero – EPDM, e blendas borracha de silicone/EPDM [2].

A utilização de isoladores elétricos em linhas de distribuição localizadas em regiões que estão sujeitas à névoa salina e poluição atmosférica, muitas vezes encontram-se em situação de risco, uma vez que os isoladores cerâmicos tradicionalmente utilizados no Brasil não têm um desempenho adequado em função da ocorrência de *flashovers*. A causa destas descargas é decorrente do depósito de resíduos de poluição ou névoa salina que, associados à presença de umidade, resultam em um eletrólito que permite a passagem de corrente ao longo do isolador. Com base nestes aspectos, há duas maneiras de se atuar sobre o problema: evitar a contaminação do isolador ou evitar a presença de umidade [3].

Como a presença de contaminantes é inevitável, outras soluções são estudadas no sentido de impedir a formação de filmes líquidos na superfície do isolador e a consequente formação do eletrólito condutor. Considerando a não formação de um eletrólito na superfície do isolador, duas são as principais estratégias utilizadas atualmente: deposição de um material hidrofóbico (polímeros) na superfície do isolador (graxas ou filmes aplicados) ou mesmo a fabricação de isoladores integralmente em material polimérico e a utilização de esmaltes semicondutores para promover o aquecimento da superfície e evitar, assim, a presença de umidade, além de possibilitar uma distribuição homogênea de tensão elétrica ao longo do isolador [4].

Com a finalidade de melhorar o desempenho elétrico do isolador quando em presença de poluição e névoa salina, pesquisadores como [5, 6, 7, 8], estudaram o recobrimento de borracha de silicone vulcanizada à temperatura ambiente sobre isoladores cerâmicos. Essa prática alia a resistência mecânica e dielétrica da cerâmica à hidrofobicidade do filme polimérico.

A hidrofobicidade é uma propriedade caracterizada pela grande repulsividade à água que alguns materiais apresentam naturalmente. Ocorre em função da baixa energia de superfície desses materiais, devido à presença de grupos metil na superfície [2]. Essa é uma propriedade amplamente desejada na aplicação desses materiais como isoladores elétricos, pois impedem a formação de um caminho para a corrente elétrica e assim melhora o seu desempenho. Entretanto, essa propriedade pode ser alterada devido à exposição que a superfície do isolador sofre ao ambiente externo, reduzindo sua hidrofobicidade.

Nesse trabalho, propomos avaliar a hidrofobicidade dos compósitos de borracha de silicone vulcanizada à temperatura ambiente (RTV SR) com cargas de alumina trihidratada (ATH) e nanosílica (NS) na matriz polimérica borracha de silicone, visando à obtenção de compósitos de ATH/NS/RTV SR para revestimento de isoladores elétricos externos.

MATERIAIS

Para a obtenção dos compósitos foram utilizados: alumina trihidratada - ATH (*Hydrogard-GP*), adquirida da ALCOA; silicone (RTV 615) A com agente de cura B, adquirido da *Momentive Performance Materials*; e nanosílica (*Silica Fumed S5505*) (14nm) nanoparticulada na forma de pó, adquirida pela Sigma-Aldrich.

MÉTODOS

Preparação das Cargas e dos Compósitos

Inicialmente, foi preparado as formulações das cargas na proporção em massa de 20%ATH:1%NS, 20%ATH:3%NS e 20%ATH:5%NS. As cargas foram individualmente pesadas, adicionada 50 mL de água e misturadas em um misturador rotativo modelo 713D, da marca FISATOM.

Após a mistura, o material foi seco em estufa a 80°C por 24 h, para eliminar toda água residual do processo de mistura. A mistura foi posteriormente desaglomerada em almofariz e peneirada em malha 200 mesh (abertura 74 µm).

Para preparação dos compósitos foi utilizado as seguintes proporções da carga em relação à boracha de silicone (RTV SR): Compósito C1: 21% de carga (20%ATH:1%NS) para 79% em peso de RTV SR; compósito C2: 23% de carga (20%ATH:3%NS) para 77% em peso de RTV SR; e compósito C3: 25% de carga (20%ATH:5%NS) para 75% em peso de RTV SR.

Para preparação de todos os compósitos, cada formulação foi adicionado a um becker 600 mL de água e misturado em um misturador rotativo modelo 713D, marca FISATOM, potência 50W, com rotação de 1500 rpm, por 30 minutos. Posteriormente, a mistura de cada compósito foi individualmente colocada em banho ultrasônico, modelo UltraCleaner 1450 A, marca Unique, por 20 min. Sendo, então novamente misturada no misturador rotativo a 1500 rpm, por 15 minutos.

Seguidamente, adicionou-se o agente de cura em concentração de 1% em peso e misturado novamente por 5 minutos no misturador rotativo a 1500 rpm. A mistura dos compósitos foi levada para uma câmara de vácuo por 40 minutos para retirada das bolhas de ar que se formam ao misturar o silicone. Uma parte da mistura foi depositada em moldes para que ocorra a cura na temperatura ambiente e outra parte foi utilizada para ser aplicada como uma espécie de “tinta”, com o auxílio de um pincel, sobre a superfície dos isoladores de vidro. Os compósitos foram então retirados dos moldes após 24 h e os isoladores apresentaram o recobrimento curado após 24 h.

Caracterizações

Os compósitos foram caracterizados quanto à morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Marca Philips, Jeol LV 5600, operando em 15kV), o tamanho dos aglomerados foi calculado manualmente por contagem de 20 aglomerados por micrografia.

Para o ensaio da câmara de névoa salina, utilizou-se quatro isoladores, um desses utilizando o revestimento da RTV SR pura e os outros três com os compósitos C1, C2 e C3, respectivamente. Os isoladores foram colocados

dentro de uma câmara de névoa de 1,2 x 1,0 x 1,0 m; na qual, os aspersores foram colocados de forma que evitasse a incidência direta da névoa salina sobre os isoladores. Para alcançar 0,5 kV de efetivos comprimentos de fuga, a tensão aplicada em cada isolador foi de 16 kV. O fluxo de água no interior da câmara foi ajustado a $1,6\pm 0,1$ L/min e a salinidade se manteve a um valor constante de $1000\pm 3\%$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ [9]. Como fonte de alta tensão se utilizou um transformador FERRANTI 220/60000, que foi conectado aos isoladores por um pino na parte inferior e na parte superior (saída do isolador) uma conexão no sistema de medição, composto por um osciloscópio Tektronic-TSD 2014 conectado em paralelo a uma resistência de $1\text{k}\Omega$. Os isoladores se mantiveram com tensão aplicada de forma constante durante 5 dias (120 horas) e o ciclo de névoa salina consistiu em 6 horas por dia de aplicação da mesma e as demais 18 horas do dia, os isoladores ficarão sob tensão aplicada, mas sem névoa salina.

As medidas de corrente de fuga foram feitas antes de remover a névoa ao final de cada ciclo.

A medida de perda e recuperação da hidrofobicidade foi efetuada pelo método descrito no guia da STRI (*Swedish Transmission Research Institute*) [10]. Essas medições se realizaram antes de começar o ensaio da câmara de névoa salina, no momento que concluiu o ensaio e com três e dez dias depois de terminar o ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam as imagens obtidas por MEV da seção transversal, dos compósitos C1, C2 e C3 respectivamente.

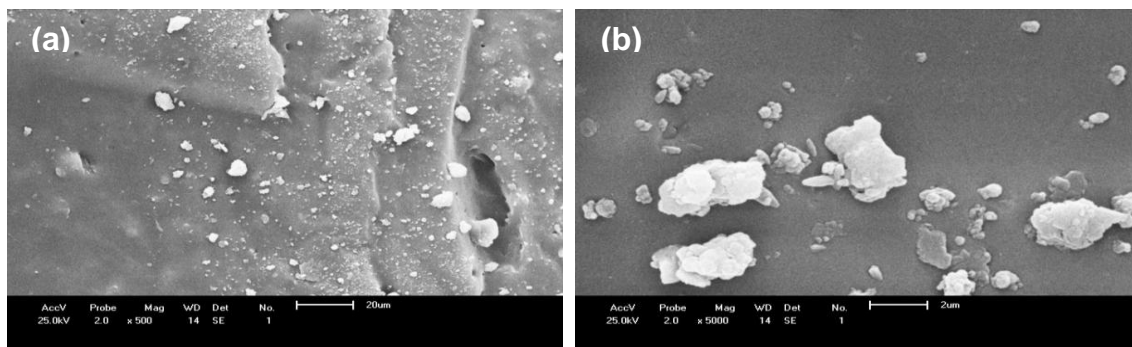


Figura 1- Fotomicrografias obtidas por MEV da seção transversal do compósito C1: (a) 20 μm e (b) 2 μm .

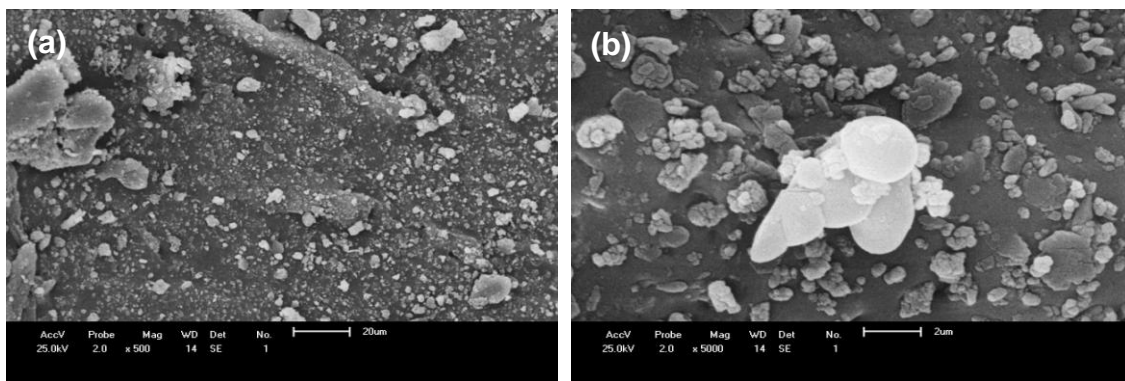


Figura 2- Fotomicrografias obtidas por MEV da seção transversal do compósito C2: (a) 20 µm e (b) 2 µm.

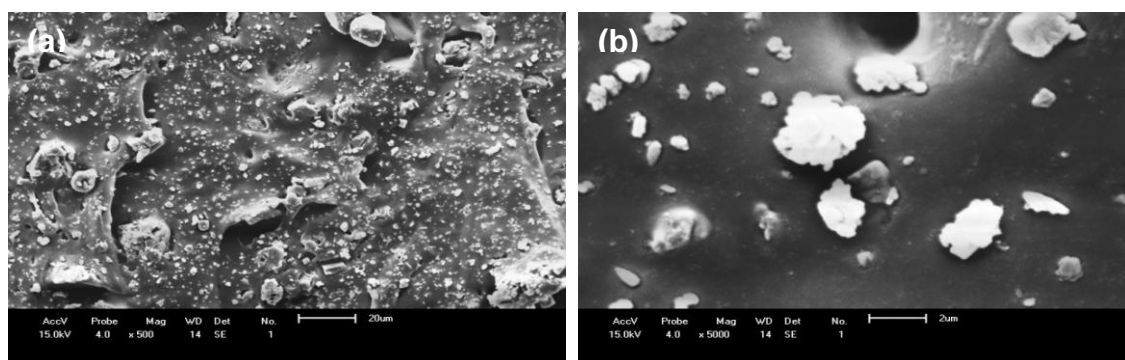


Figura 3- Fotomicrografias obtidas por MEV da seção transversal do compósito C1: (a) 20 µm e (b) 2 µm.

Por meio das fotomicrografias dos compósitos C1, C2 e C3, respectivamente, observou-se uma morfologia não homogênea em relação à distribuição das partículas das cargas dentro da matriz de RTV SR. Em todos os compósitos observou-se que as cargas estão embutidas dentro da matriz RTVSR, com presença de partículas maiores correspondente a alumina trihidratada ATH que possui tamanho micrométrica e partículas muito finas correspondente a fração da nanosílica NS.

Devido à diferença do tamanho da partícula da ATH (micrométrica) e da nanosílica (nanométrica) quando se prepara o compósito a NS por ter uma maior área de superfície que a ATH, tende a facilmente segregar para a superfície do compósito. Este comportamento é bem mais perceptível para o compósito C3 que possui o maior teor de NS (3%).

O resultado da medida de corrente de fuga com tensão aplicada em condições de névoa salina para a borracha de silicone pura (RTV SR) e para os compósitos C1, C2 e C3 encontram-se na Figura 4. Para fins comparativos

com os resultados dos compósitos apenas neste ensaio foi avaliado o comportamento da RTV SR pura.

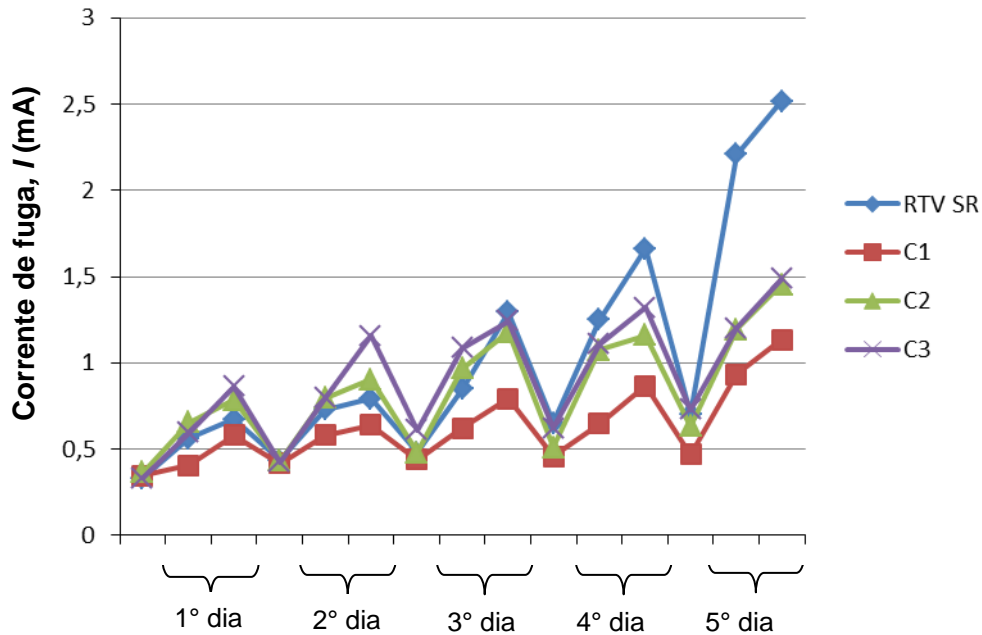


Figura 4- Resultado do ensaio da câmara de névoa salina.

Como pode ser observado até o 3º dia de ensaio, o revestimento com a RTV SR pura apresentou menores valores de corrente de fuga que os revestimentos com os compósitos C2 e C3. Isto provavelmente se deu, pelo fato que após se adicionar teor de 23% e 25% de cargas na RTV SR, o revestimento (“tinta”), proporcionou um aumento na rugosidade na superfície dos isoladores [11], facilitando, assim a deposição de contaminantes sobre os isoladores.

Para o compósito C1, verificou-se que mesmo nos primeiros dias o revestimento no isolador favoreceu a um menor valor da corrente de fuga que a RTV SR pura, possivelmente pelo teor de 21% de carga a RTV SR não ter favorecido ao aumento da rugosidade, como nos demais compósitos.

A partir do 4º dia de ensaio, verificou-se que com o aumento do tempo de ensaio, ocorreu um aumento nos valores da corrente de fuga para os isoladores revestidos com a RTV SR pura, pois por não apresentarem cargas que protejam contra a erosão [5], a RTV SR foi degradada mais rapidamente do que os isoladores revestidos com os compósitos C1, C2 e C3. O revestimento com cargas favoreceu ao impedimento da recuperação da

hidrofobicidade, com isso facilitou a deposição de contaminantes na superfície dos isoladores, levando a um aumento da circulação de corrente de fuga.

Por outro lado, analisado a corrente de fuga entre os revestimentos dos isoladores com os compósitos entre si, verificou-se que o revestimento nos isoladores feito com compósito C1 (menor teor de carga 21%) foi o que favoreceu aos menores valores de corrente de fuga durante todo o ensaio. Isto provavelmente ocorreu pelo fato do menor teor de carga ter sido possível ser disperso melhor na matriz RTV SR, de forma que no início do ensaio a característica morfológica e do compósito ter se aproximado mais da matriz RTV SR pura, tendo assim menos rugosidade que os compósitos C2 e C3 e ao mesmo tempo para tempos longo o ensaio a presença da carga na matriz ter contribuído para evitar a degradação da RTV SR.

Com relação à perda e recuperação da hidrofobicidade a Tabela 1 apresenta os resultados obtidos das medições de hidrofobicidade para os revestimentos feitos com a RTV SR pura e com os compósitos C1, C2 e C3 nos isoladores.

Tabela 1- Resultado das medições de hidrofobicidade.

Revestimento dos Isoladores	T1	T2	T3	T4
RTV SR pura	1	4	4	3
C1	1	2	2	1
C2	1	2	2	2
C3	1	2	2	2

T1 - Antes do ensaio da câmara de névoa salina; **T2** - ao Finalizar o ensaio da câmara de névoa salina; **T3** - três dias após terminar o ensaio da câmara de névoa salina; **T4** - dez dias após terminar o ensaio da câmara de névoa salina.

Observa-se que antes de começar o ensaio, todos os revestimentos testados nos isoladores independente da composição, apresentaram o nível mais elevado de hidrofobicidade (HC = 1), segundo a classificação do guia STIR [10] e ao final do ensaio da câmara de névoa salina, todos haviam perdido hidrofobicidade em pelo menos um nível, sendo o revestimento de RTV

SR pura o que mais perdeu hidrofobicidade ($HC = 4$). Isto ocorreu por não haver nenhum tipo de carga e a superfície do polímero foi afetada, provocando perdas do grupo metil ($-CH_3$) responsável pela hidrofobicidade da RTV SR (Almirall, 2103).

No caso dos revestimentos feitos com os compósitos C2 e C3, observou-se pouca perda da hidrofobicidade durante o ensaio da câmara de névoa salina, reduzindo apenas ao nível $HC = 2$. No entanto, o revestimento com o compósito C1, apresentou o menor valor de corrente de fuga no ensaio da câmara de névoa salina, Figura 4, mostrando ter sido o único dos revestimentos que recuperou totalmente sua hidrofobicidade aos dez dias de ensaio. Isto indicou que a melhor distribuição das cargas na RTV SR e a ausência de rugosidade na superfície dos isoladores favoreceu uma melhor proteção contra a erosão.

CONCLUSÃO

Nas fotomicrografias obtidas por MEV, os compósitos apresentaram aglomerados de tamanhos variados e distribuição de partículas heterogêneo dentro da matriz da RTV SR. Tanto no ensaio com câmara de névoa salina como na medição da hidrofobicidade, o revestimento que apresentou menor valor de corrente de fuga e que recuperou totalmente a hidrofobicidade aos dez dias de ensaio foi RTV SR/20%ATH/1%NS, indicando ser o mais promissor para proteção dos isoladores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] P. B. Vilar, D. B. Araújo, M. A. O. Rodrigues, F. L. M. Andrade, T. V. Ferreira, E. G. Costa, F. S. Moreira, J. N. Caminha Filho, *Caracterização térmica e Elétrica de Poluição Salina em Isoladores de Vidro*, IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – SBSE, 2012.

- [2] G. C. Silva; F. Piazza; P. C. Inone; K. F. Portella; M. S. Cabussu; D. P. Cerqueira, *Avaliação de desempenho de isoladores cerâmicos e poliméricos no nordeste brasileiro por meio de medidas on line de corrente de fuga e classificação da severidade da contaminação local*, Congresso Induscon, 2010.
- [3], J. Liebermann, *New effective ways toward solving the problem of contamination of porcelain insulators*. Refractories and Industrial Ceramics, v.43, n.1-2, 2002, p.55-64.
- [4] C. A. Fontanella; A.P.N. de Oliveira; D. Otza, *Recobrimentos poliméricos hidrofóbicos sobre isoladores elétricos de porcelana*. Revista Matéria, v. 13, n. 4, 2008, p. 624 – 635.
- [5] L.H. Meyer; S. H. L. Cabral; E. Araújo; G. Cardoso, *Use of Nanosilica in Silicone Rubber Coatings for Ceramic Insulators in Coastal Areas Field Results*, ISEI 2008, p. 676-679.
- [6] L. Lei; W. Xishan e C. Dengke, *Corona Ageing Tests of RTV and RTV nanocomposite Materials*, presented at the Solid Dielectrics, IEEE, v. 2, 2004. p. 804 - 807.
- [7] B. X. Du; Z. L. Ma; Y. Gao; T. Han; Y. S. Xia, *Effects of nano filler on treeing phenomena of silicone rubber nanocomposites*, presented at the Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 2011, p. 788 - 791.
- [8] I. P. Almirall, D. Cibele, M. Castro, y E. Guedes, *Influencia de la metodología usada en la adición de cargas a la RTV SR*, presented at the ALTAE 2013, La Habana, Cuba, 2013.
- [9] H. Deng; R. Hackam; E.A. Cherney, *Effects of addition of silicone fluid on electrical performance of rtv silicone rubber coatings*, IEEE 5th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, 1995.
- [10] SWEDISH TRANSMISSION RESEARCH INSTITUTE (STRI). "Hydrophobicity Classification Guide Guide_1_92_1". 1992.

[11] H. Deng; R. Hackam, *Low-molecular weight silicone fluid in RTV silicone rubber coatings*, Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, v. 6, n. 1, 1999, p. 84 – 94.