
RADIOVULCANIZAÇÃO DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL: ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA UMA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE LUVAS CIRÚRGICAS

Hugo D. Chirinos*

Resumo

Comparando os custos de fabricação de luvas cirúrgicas mediante dois processos de vulcanização: o térmico convencional e o alternativo, que utiliza radiação ionizante, a partir de uma capacidade de fabricação de sete milhões de pares de luvas por ano e de uma capacidade de produção de 1.789 toneladas de látex irradiado chamado de Gamatex, o custo da radiovulcanização foi de US\$ 0,182/k. Do total de Gamatex produzido, 16,35% foram destinados à fabricação de luvas e 83,65% foram comercializados. O ponto de equilíbrio na fabricação de luvas foi de 23,87% para o convencional e de 18,32% para o alternativo. No entanto, comercializando o Gamatex, o ponto de equilíbrio foi de 22,67%. A análise de custo para a transferência de tecnologia mostrou que o período de retorno de capital foi de 1,19 anos e a taxa interna de retorno de 45,9%.

* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
E-mail: hdcoll@net.ipen.br

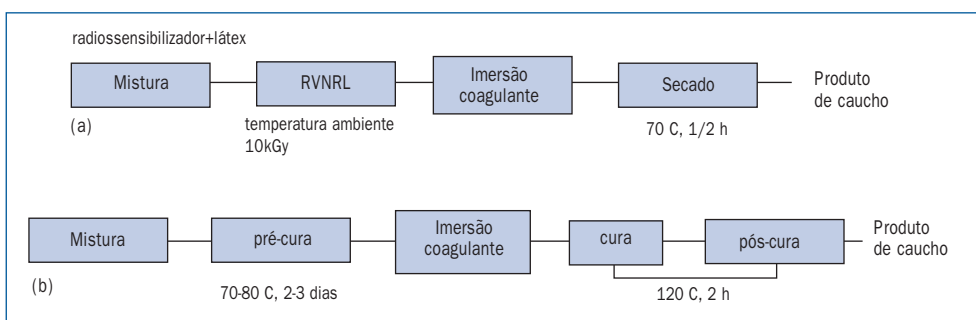
Abstract

This paper compares the costs of surgical glove fabrication by different vulcanization processes: conventionally sulfur-heat and another alternative process which uses ionizing radiation designed to manufacture up to seven million pairs of glove/year. The irradiator is designed to prepare 1,789 tons of radiation-vulcanized latex (Gamatex) per year. The cost analysis to prepare 1kg of Gamatex can be as low as US\$ 0.182. The available capacity is 16.35% to manufacture gloves and 83.65% to use for miscellaneous. The break-even point is 23.87% when gloves are manufactured by the SVNRL process; whereas, it is 18.32% when they are manufactured by the RVNRL process. Finally, the break-even point of Gamatex used for miscellaneous is 22.67%. The cost analysis for additional capital investment to make changes in the production technology has demonstrated that the payback period is 1.19 years and the Internal Rate of Return is 45.9%.

1 INTRODUÇÃO

A vulcanização do látex de borracha natural utilizando o processo com radiação ionizante é conhecido mundialmente como RVNRL³¹, no qual a alta energia dos raios gama¹⁶ e feixe de elétrons^{15, 17, 18, 19} interagem com as macromoléculas do polímero poli(cis 1,4 isopreno), promovendo o processo de reticulação. Essa nova tecnologia foi objeto de estudo no início dos anos 60 na Europa e reiniciadas as pesquisas na década de 1980 pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), liderada pelo Japão com a participação dos países asiáticos.

A vulcanização com raios gama atualmente está sendo aplicada na Europa^{2, 3} e na Ásia^{12, 26, 30}, na fabricação em escala industrial¹³ de luvas cirúrgicas e preservativos^{27, 32}, balões óticos para diagnóstico a *laser*, balões para endoscopia, dreno, sondas, cateteres²³ e fios elásticos²⁵. No Brasil, esse processo foi utilizado para a fabricação em escala piloto de luvas para procedimento^{5, 6}. Mundialmente, as indústrias realizam esforços para substituir processos poluentes por não-poluentes. Assim, a energia nuclear para uso industrial é uma ótima alternativa de energia não-poluente. Por exemplo, o processo tradicional de conservação dos alimentos por congelamento, que agride a camada de ozônio, está sendo substituído pela radiação ionizante. A tradicional vulcanização do látex de borracha natural utilizando enxofre e diotiocarbamatos, responsáveis pela alta citotoxicidade nos produtos de borracha^{11, 20} e pela presença de nitrosaminas, que são cancerígenas²¹, pode ser substituído pelo processo RVNRL, que ocorre na ausência desses compostos^{16, 26}.



Desenho 1 Fabricação de artefatos de borracha pelos processos: (a) RVNRL, (b) SVNRL

Portanto, pelo processo RVNRL, obtêm-se produtos de borracha com as mesmas propriedades físicas e mecânicas, porém melhoradas nos seguintes aspectos: não contém elementos poluentes atmosféricos¹⁰, apresentam menor citotoxicidade^{4, 14, 22}, maior transparência (98%) e maciez. Esse processo é mais simples e de fácil controle, já que não necessita das etapas de cura e de pré-cura (Desenho 1), portanto os custos de fabricação são mais competitivos se comparados com os do processo tradicional^{27, 29}. Outro aspecto é a melhoria da estabilidade química do látex radiovulcanizado em razão do consumo mínimo de aditivos químicos,²⁸ facilitando o manuseio no processo de imersão.

O objetivo deste trabalho é dar a conhecer, do ponto de vista técnico-econômico¹, o processo RVNRL avaliando os seguintes aspectos: estudo da viabilidade do investimento inicial do projeto e a transferência da inovação tecnológica para as indústrias de borracha.

2 INVESTIMENTO INICIAL PARA AS FÁBRICAS DE LUVAS: RVNRL & SVNRL

A fábrica que utiliza o processo RVNRL foi projetada^{7, 8, 9} para irradiar seu próprio látex. Uma parte da produção é destinada à unidade de fabricação de luvas, outra parte é negociada na forma de Gamatex, que será utilizada para outros fins. A capacidade da unidade de fabricação de luvas foi projetada para sete milhões de pares. A unidade de irradiação é constituída por uma fonte de cobalto-60 de 100kCi de atividade inicial do tipo úmido submersível; a capacidade da unidade de irradiação foi projetada em 1.879 toneladas de Gamatex, e a eficiência anual de utilização da fonte foi de 8.000h. O látex foi vulcanizado com raios gama a uma dose de irradiação de 10kGy e utilizando o sistema radiosensibilizador de 3.5phr de n-BA (acrilato de n-butila) e 0.2phr de uma solução a 10% de KOH. O tempo de exposição à irradiação foi calculado em 11,4h. Para analisar comparativamente os dois processos, assume-se que as fábricas têm a mesma capacidade de manufatura, porém a que utiliza o processo tradicional apresenta perdas de até 20%, o que significa que a fabricação anual efetiva será de 5.866.667 pares de luvas.

TABELA 1

Investimento inicial para as fábricas de luvas: RVNRL & SVNRL (US\$)

ITEM	RVNRL	SVNRL
Manuseio do látex	8.000,00	6.111,00
Formulação & Tanques de estocagem	5.000,00	
Unidade de bombas	3.000,00	
Equipo para cura do látex		6.111,00
Unidade de irradiação	1.385.000,00	
Edificação (100 m ²)	450.000,00	
Blindagem	550.000,00	
Fonte de cobalto-60	175.000,00	
Sistema do reator de irradiação	60.000,00	
Outros equipamentos (sistema de controle)	150.000,00	
Unidade de fabricação	247.667,00	247.667,00
Máquina de imersão	182.778,00	182.778,00
Máquina ferramenta	1.000,00	1.000,00
Boiler	13.889,00	13.889,00
Edificação (600 m ²)	50.000,00	50.000,00
Miscelâneas	99.867,00	99.867,00
Equipo de laboratório	8.200,00	8.200,00
Terreno (2.000 m ²)	16.667,00	16.667,00
Unidade de transporte	25.000,00	25.000,00
Gerente de projeto	50.000,00	50.000,00
Total	1.740.533,00	353.644,00

O investimento de capital inicial para montar as fábricas de luvas foi de US\$ 1.740.533,00 para RVNRL e de US\$ 353.644,00 para SVNRL (Tabela 1). O irradiador de látex trabalha em sistema de batelada que compreende manuseio do látex, unidade de formulação e sistema de controle (tratamento de água).

A Tabela 2 mostra os custos de irradiação estimados. No cálculo, assume-se que a fábrica será montada no Brasil no período de meia-vida de quinze anos com juros anuais de 18% nos custos anuais de operação do irradiador de cobalto (US\$ 325.125,00), considerando-se a amortização do capital (US\$ 1.385.000,00), os gastos referentes a juros, impostos e seguro, respeito à fonte, mão-de-obra requerida para operar a fonte, manutenção das instalações, além dos custos de consumo de água, energia elétrica e serviços de controle de dosimetria.

TABELA 2

Custos de irradiação do látex (US\$)

ITEM	Valor
A: Produção anual (ton.)	1.789,00
B: Investimento do irradiador de látex	1.385.000,00
C: Custo de operação do irradiador	325.125,00
Reposição da fonte Co-60, 12%	21.000,00
Salários	75.600,00
Manutenção & Utensílios (2% de B)	27.700,00
Imprevistos (2% de B)	41.550,00
Depreciação	83.100,00
Juros anuais	76.175,00
Custo de irradiação (US\$ /kg.) C/A	0,182
Custo do radiosensibilizador (US\$ /kg.) n-BA, 3,5phr	0,037
Custo de vulcanização (US\$ /kg.)	0,219

Tomaram-se algumas considerações para calcular o período de retorno do capital (*payback*). O preço por par de luvas foi de R\$0,5 (câmbio US\$ 1=R\$1,8), afetado pelo imposto estadual (ICMS) de 18% com recuperação do valor do imposto contido na matéria-prima. No caso da fábrica RVNRL o ICMS resultante foi de 14,49% e para a fábrica SVNRL foi de 13,62%.

Os custos fixos totais (Tabela 3) foram estimados em US\$ 483.562,00 e US\$ 161.112,00 para as fábricas de luvas RVNRL e SVNRL, respectivamente. Para estimar os custos variáveis totais (Tabela 4), foram consideradas as peças em matéria-prima e os aditivos para a formulação, sendo de US\$ 586.934,00 e US\$ 732.872,00 para as plantas RVNRL e SVNRL, respectivamente. Dada a composição dos custos variáveis, considerou-se, inicialmente, que ela mantém uma relação linear com o volume de produção.

ANÁLISES DO CAPITAL DE GIRO PARA A FABRICAÇÃO DE LUVAS

Fábrica RVNRL		Fábrica SVNRL	
Investimento inicial	US\$ 1.740.533,00	Investimento inicial	US\$ 353.644,00
Ingressos (7.333.333 x US\$ 0,5)	US\$ 2.037.037,00	Ingressos (5.866.667 x US\$ 0,5)	US\$ 1.629.630,00
NRAT (0.18)	US\$ 1.741.777,00		US\$ 1.407.703,00
Custos variáveis totais	(US\$ 586.934,00)	Custos variáveis totais	(US\$ 732.872,00)
Fluxo de caixa	US\$ 1.154.843,00	Fluxo de caixa	US\$ 674.831,00
Custos fixos parciais	US\$ 211.599,00	Custos fixos totais	US\$ 161.112,00
Ponto de equilíbrio		Ponto de equilíbrio	
Fluxo de caixa por par (1.154.843/7.333.333)	0,1575	Fluxo de caixa por par (674.831/5.866.667)	0,115
Capacidade, pares (254.073/0,1575)	1.343.668,00	Capacidade, pares (161.112/0,115)	1.400.634,00
Capacidade empregada (1.343.668/7.333.333)	18,32%	Capacidade empregada (1.400.634/5.866.667)	23,87%

2.1 Capacidade disponível sobre os custos fixos da fábrica RVNRL

A unidade de irradiação do látex foi projetada para preparar 1.789 toneladas de Gamatex ao ano, com 16,35% destinados à fabricação de luvas e o restante, 83,65%, destinado à comercialização. Como os custos de operação do irradiador foram estimados em US\$ 325.125,00 (Tabela 2), estes podem ser afetados pelo conceito de capacidade disponível. Assim, o custo fixo do irradiador relativo à fabricação de luvas foi de US\$ 53.162,00 e para a comercialização foi de US\$ 271.963,00. Portanto, os custos fixos parciais para a fabricação de luvas foram de US\$ 211.599,00.

TABELA 3

Custos fixos para os dois processos de vulcanização (US\$)

ITEM	SVNRL	RVNRL
Depreciação da edificação	2.500,00	25.000,00
Depreciação da máquina de imersão	22.847,00	22.847,00
Depreciação do equipo de cura do látex	653,00	
Depreciação do evaporador	2.778,00	2.778,00
Depreciação do equipo e da unidade de irradiação		63.413,00
Reposição da fonte de Co-60, 12%		21.000,00
Manutenção	9.417,00	37.117,00
Mão-de-obra indireta	83.600,00	118.200,00
Taxa de juros sobre o capital, 10%	53.364,00	174.053,00
Seguro, 2%	3.953,00	19.153,00
Total de custos fixos	161.112,00	483.562,00

2.2 Ponto de equilíbrio entre os processos

O custo de fabricação de uma quantidade genérica (q) de pares de luvas seria a soma do custo variável unitário vezes q , incluídos os impostos e os custos fixos associados.

	SVNRL	RVNRL
Custos variáveis	$0,1249(q)$	$0,08(q)$
Custos fixos	161.112,00	211.599,00
Custos totais	$0,1249 \times q + 161,112$	$0,08 \times q + 211,599$

Assim, a quantidade que iguala os custos de fabricação para os dois processos seria de:

$$0,1249 \times q + 161.112 = 0,08 \times q + 211.599... \quad (1)$$

$$q = 1.124.808 \text{ pares} \quad (2)$$

Observa-se que os custos de fabricação de luvas pelo processo RVNRL são menores quando comparado aos custos de fabricação pelo processo SVNRL.

TABELA 4

Custos variáveis para os dois processos de vulcanização (US\$)

ITEM	SVNRL	RVNRL
Custo variável para a fabricação de luvas	732.872,00	586.934,0-
Gasto de energia	16.683,00	16.683,00
Gasto de combustível para o evaporador	13.333,00	13.333,00
Gastos de matéria-prima e reagentes químicos	496.875,00	461.097,0-
Mão-de-obra direta	165.240,00	55.080,00
Custo de embalagem	40.741,00	40.741,00
Custo variável para o Gamatex		1.710.219,00
Total de custos variáveis	732.872,00	2.297.153,00

3 PONTO DE EQUILÍBRIO DO GAMATEX PARA COMERCIALIZAÇÃO

O preço por quilograma de Gamatex foi fixado em US\$ 1,94, no qual é incluído o imposto na proporção de 7,75%. Os custos variáveis por quilograma de Gamatex calculam-se em US\$ 1,14, o que corresponde a US\$ 0,80 para contribuição. Como os custos fixos anuais relacionados à obtenção do Gamatex para comercialização foram calculados em US\$ 271.963,00, a quantidade de equilíbrio dessa atividade será de $271.963/0,8 = 339.216$ kg. O ponto de equilíbrio consegue-se em um nível de ocupação de $339.216/1.496.641 = 22,67\%$ do total comercializado.

4 INVESTIMENTO ADICIONAL PARA A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

A aquisição do irradiador representa um investimento adicional de US\$ 1.393.000,00 (Tabela 1). Para que os resultados sejam comparativos com a fábrica SVNRL, assume-se o seguinte:

- A capacidade de fabricação será a mesma para as duas fábricas (5.866.667 pares de luvas).
- A quantidade de Gamatex destinada à comercialização será de 80% da capacidade total disponível para essa finalidade, o que representa 1.197.313 kg.

A diferença entre os custos totais de fabricação de luvas pelo processos SVNRL e RVNRL foi de US\$ 212.838,00. A margem de contribuição para obter 1.197.313 kg de GAMATEX foi de US\$ 959.933,00. Ademais, a margem de contribuição anual adicional para a instalação da unidade de irradiação foi de US\$ 1.172.771,00. Esse investimento adicional mostra um *payback* de 1,19 anos e um IRR de aproximadamente 45,9%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ponto de equilíbrio para a fabricação de luvas pelo processo RVNRL foi de 1.343.668 pares, o que representa apenas 18,32% da capacidade ocupada, e de 1.400.634 pares para o processo SVNRL, o que representa 23,87%. O processo RVNRL mostrou ser mais barato para a fabricação de luvas como indicaram os baixos custos totais. Observa-se também que é mais conveniente comercializar o Gamatex do que manufaturar luvas. Os custos fixos da unidade de irradiação foram calculados em função do conceito de capacidade disponibilizada. O *payback* obtido para a transferência de tecnologia foi de 1,19 anos e o IRR foi de aproximadamente 45,9%. Em conclusão, o processo RVNRL é mais atrativo quando se trata de grandes capacidades de irradiação.

REFERÊNCIAS

1. BERLINER, R. E.; J. A. BRIMSON. *Cost management for today's advanced manufacturing*. Boston: Harvard Business School Press, 1988.
2. BEZ, W. Application of RVNRL in Europe. *JAERI M-89-228*, p. 378-382, 1990.
3. BEZ, W. Status of RVNRL in German latex industry and its introduction to the European market. *Proceeding of the 2nd International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 108, 1996.
4. BINH, D. et al. Studying the allergenicity of proteins in dried latex films vulcanized by radiation. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 108, 1996.
5. CHIRINOS, H. D.; GUEDES, S. M. L. The manufacture of surgical gloves using RVNRL: parameters of the coagulant dipping process. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. v. 15, n. 4, p. 334-342, 1998.

6. CHIRINOS, H. D. *Fabricação de luvas cirúrgicas com látex de borracha natural vulcanizado com raios gama*. 1995. (Dissertação de mestrado) – IPEN/CNEN, São Paulo, 1995.
7. CUDA, J. Optimum plant capacity: technical and economical considerations. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 25, n. 1-3, p. 411-423, 1985.
8. CURZIO, O. A.; QUARANTA, H. C. Multipurpose gamma irradiation facility design. *Int. J. Radiat. Isot.*, v. 33, p. 462-463, 1982.
9. CURZIO, O. A.; QUARANTA, H. C. Theoretical evaluation of dose rate for a Cobalt-60 source in a pool irradiator. *Int. J. Radiat. Isot.*, v. 32, p. 256-257, 1981.
10. GEERTSMA, R. et al. Biological evaluation of RVNRL. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 93, 1996.
11. IKARASHI, Y. et al. Comparative studies by cell culture and *in vivo* implantation test on the toxicity of natural rubber latex materials. *Journal of Biomedical Materials Research*, v. 26, p. 339-356, 1992.
12. JAYAKUMAR, C.; JOY J. Production of RVNRL and manufacture of product. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 168, 1996.
13. KULATUNGE, S. S. et al. A test trial irradiation of NRL on large scale for the production of examination gloves in a production line. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 150, 1996.
14. MA'ZAM, MD. S.; WAN, M. W. Z. Extractable protein content of radiation vulcanized latex films. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 126, 1996.
15. MAKUUCHI, K. Industrial application of electron beams for grafting and vulcanization. national seminar on application of electron accelerators. *Proceedings of National Seminar on Application of Electron Accelerators: Electron Accelerator for Industrial Process*. Bangi, Selangor, Malaysia, Nuclear Energy Unit, p. 125, 1994.
16. MAKUUCHI, K. Progress in radiation vulcanization of natural rubber latex throughout international cooperation. *JAERI M-89-228*, p. 91-99, 1990.
17. MAKUUCHI, K. Progress in radiation vulcanization of natural rubber latex. *International Rubber Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 107-116, 1997.
18. MAKUUCHI, K.; YOSHII, F.; GUNewardena, J. A. G. S. G. Radiation vulcanization of NR latex with low energy electrons beams. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 46, n. 4-6, p. 979-982, 1995.
19. MAKUUCHI, K. et al. *Vulcanization of natural rubber latex with low energy electron accelerator*. *J. Soc. Rubber Ind. Japan*, v. 19, n. 7, p. 500, 1996.
20. NAKAMURA, A. et al. Radiation vulcanized of natural rubber latex is not cytotoxic. *JAERI M-89-228*, p. 79-87, 1990.
21. NIEPEL, H. RVNRL in Europe. *JAERI M-89-228*, p. 111-7, 1990.

22. NURULHUDA, o; WAN, M. W. Z. Determination of soluble proteins contents from RVNRL. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 115, 1996.
23. SHIMAMURA, Y. Development of optical laser balloon and drainage from radiation vulcanized NR Latex. *JAERI-M-89-228*, p. 88-90, 1990.
24. TSHUSHIMA, K. et al. Commercial application of RVNRL: commercialization of productive rubber gloves by radiation vulcanization. *JAERI-M-89-228*, p. 127-131, 1989.
25. UTAMA, M. et al. Rubber thread made from a mixture of RVNRL and NR-g-MMA. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p.159, 1996.
26. UTAMA, M. Irradiated latex and its application. *IAEA-RU-2080*, Final report Viena, International Atomic Energy Agency, 1990.
27. WAN MANSOL BIN W. Z. Radiation vulcanized natural rubber latex (RVNRL): pilot scale preparation, cost and applications. *International Rubber Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 117-121, 1997.
28. WAN MANSOL BIN W. Z. Stability of RVNRL upon storage and the degradability of its film vulcanizates. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 274, 1996.
29. WAN MANSOL BIN W. Z.; MEOR, Y. R.; NORJANAH, M. Processing cost of RVNRL. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*. Kuala Lumpur, Malaysia, p. 233, 1996.
30. YANTI, S. S. et al. Application of radiation vulcanized natural rubber in Indonesia. *Proceeding of the Second International Symposium on RVNRL*, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 173, 1996.
31. ZHU, N. et al. *Study on radiation vulcanization of natural rubber latex. nuclear science and techniques*. v. 8, n. 1, p. 51-52, 1997.
32. ZIN, W. M; MOHID, N.; RAZALI, M. RVNRL a potential material in latex dipped products manufacturing. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 46, n. 4-6, p. 1.019-1.023, 1995.