



**Simpósio de Métodos
Numéricos em Engenharia**

25 a 27 de outubro, 2017

Modelagem do planejamento da vacina influenza no Brasil: Abordagem pelo System Dynamics

Henrique Teixeira Sebastiani
Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Brasil
sebastiani@ufpr.br

José Eduardo Pecora Junior
Pós-Graduação em Métodos Numérico em Engenharia
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Brasil
pecorajr@gmail.com

Resumo— Considerado pelo Governo brasileiro com uma das principais medidas para o controle de epidemias, o Programa Nacional de Imunização tem como propósito a redução de casos. O vírus influenza causa centenas de óbitos anualmente, deixando assim primordial um melhor planejamento na implementação e controle das vacinas contra a gripe. O System Dynamics proporciona um modelo que retrata visualmente o cenário atual, podendo analisar as variáveis que estão afetando o resultado final do sistema. Com isso, cria-se a possibilidade de comparar as políticas que podem ser adotadas e quais impactos elas causaram no sistema. O artigo apresenta um modelo conceitual que organiza e identifica as variáveis que podem causar o não atingimento da meta de vacinação, assim como seus impactos no Sistema Único de Saúde.

Palavras-chave—artigo; *System Dynamics*; *Vacina*; *Modelagem*.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com o Ministério da Saúde, o Brasil investe anualmente cerca de R\$ 3,9 bilhões na compra de 300 milhões de doses para vacinas [1]. Considerado como a principal medida para o combate do vírus influenza [2], torna-se necessário o investimento. Em casos de campanha, além do incentivo financeiro, o ministério da saúde investe em logística, na distribuição das doses, assim como em

campanhas publicitárias para comparecimento, principalmente dos grupos prioritários. Para a campanha de vacinação contra o vírus *influenza*, popularmente conhecido como vírus da gripe, os grupos prioritários são: crianças até 6 anos, gestantes, idosos, puérperas, indígenas, profissionais da saúde e professores. A meta estabelecida pelo Ministério é vacinar pelo menos 90% dos grupos, representando 54,2 milhões de brasileiros em 2017, tendo a cobertura vacinal (CV) como o indicador principal, resultado da equação (1).

$$CV = \frac{n^{\circ} \text{ de doses aplicadas durante a campanha}}{\text{População alvo}} \quad (1)$$

Embora os grandes esforços do governo brasileiro, no prazo do planejamento inicial da campanha, nenhum dos estados conseguiu chegar a essa meta em 2017, tendo o Amapá como líder com 85,7% de cobertura vacinal e em último, o Pará com apenas 52,1%, segundo dados do SINPI-Data SUS. Diversos fatores podem ser atribuídos pelo não atingimento da meta, como: problemas logísticos relatados na falta de abastecimento nas unidades de saúde, atraso na produção das doses e podendo ser até mesmo pela preocupação que os idosos com a eficácia da vacina ou entender que o “governo pretendia matar os idosos para não pagar aposentadoria” [3]. As campanhas publicitárias, utilizadas em 2017 reforçaram para uma maior necessidade

da população em vacinar, porém não abordaram as questões que as pessoas em não vacinarem.

O antingimento da meta de cobertura nas crianças, por exemplo, podem reduzir em até 91% das quantidades de casos [4]. Com a redução de infectados, reduziria as quantidades de internações hospitalares, custosos para o SUS, e número de óbitos, custosos para o Brasil. Alguns fatores levantados [5] mostram que pais são os principais determinantes para a tomada de decisão de vacinar seus filhos, com alguns confiando na eficácia da vacina como um fator para vacinar e outros, acreditando que a vacina pode ser um dos dissimuladores do vírus da gripe.

O método proposto para esse trabalho é uma abordagem com *system dynamics*, com o objetivo de melhorar o planejamento ao longo prazo, identificando como os fatores podem impactar na quantidade de doses para as futuras campanhas. Sendo uma metodologia da simulação contínua, e com o apoio de softwares, torna-se possível analisar o cenário atual do problema e tomar alguma decisão, e assim, projetar como o meio se comportou, tomando novas decisões [6]. O SD foi desenvolvido em 1958 pelo autor Jay W Forrester, no artigo "*Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers*" [7].

No artigo [8], os autores sugeriram um modelo de SD para representar a natureza complexa e dinâmica dos processos de imunização na Uganda, com o fim de melhor o entendimento, auxiliando a tomada de decisões. Enquanto no artigo [5] foi apresentado também um modelo conceitual com os fatores determinantes para vacinação ou não das crianças, porém não em uma abordagem SD.

Para esse artigo, foi desenvolvido o modelo conceitual do sistema complexo, analisando o comportamento das populações dos grupos prioritários, suas respectivas coberturas vacinais, aspectos financeiros do Programa Nacional de Imunização, e como esses fatores impactam financeiramente o SUS.

II. METODOLOGIA

Elaborado com uma ferramenta para analisar um problema a ser resolvido, uma situação que precisa ser melhor compreendida, ou um comportamento não desejado no sistema que será resolvido ou evitado [9]. A implementação de um SD pode ser dividido em seis etapas, como representado na Figura 2.

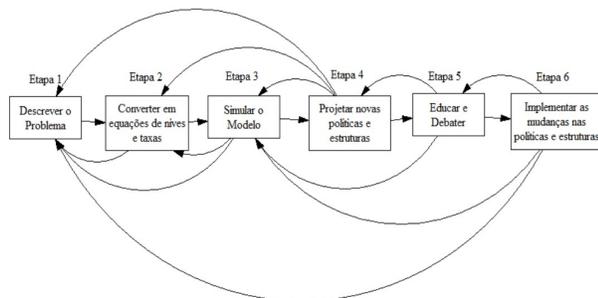


Figura 1. Etapa do SD: adaptado pelo autor [10]

Na primeira etapa, deve ser descrito o problema, podendo assim compreender o comportamento do sistema criando possíveis teorias que ocasionarão uma perturbação do sistema, com o intuito de melhoria.

Na segunda etapa, começa com a formulação do modelo simulado, criando níveis e taxas para as variáveis. Nota-se que para cada etapa subsequente, caso haja um gap de informação, será necessário retornar uma etapa para corrigir o problema. Caso uma equação necessite de mais dados, fica constatado que alguma variável não foi descrita na etapa 1.

Com todas as variáveis vistoriadas, com suas lógicas e unidades verificadas, inicia-se a terceira etapa, da simulação do modelo estudado. Diferente de outros métodos que focam no futuro ideal, o SD visa também compreender o cenário atual, para depois o caminho para o melhoramento. As primeiras simulações serão os verificadores para as etapas 1 e 2, até quando o modelo se adequar para o propósito do estudo. Não significa que o modelo esteja validado, pois não tem como validar uma teoria que tem como objetivo representar o mundo real [11].

Na quarta etapa, as políticas e estruturas podem ser elaboradas através dos resultados das primeiras simulações, experiência do analista ou por exaustivas tentativas das trocas nos parâmetros. A escolha da melhor política é que apresenta os resultados mais promissores aplicados no modelo simulado.

A quinta etapa é quando as habilidades de liderança e coordenação são desafiadas e testadas. Mesmo que os objetivos da equipe sejam os mesmos, qual política deve ser aplicada no modelo para o antingimento da meta é o principal motivo de discórdia. Essa etapa foca bastante no debate no modelo, caso seja necessário, poderá retornar para as etapas anteriores.

A sexta etapa, conclui-se o projeto com a implementação do modelo computacional. Caso as etapas anteriores forem contruídas corretamente e na quinta etapa as novas políticas ensinadas e compreendidas, a última etapa tende a ser implementada sem maiores dificuldades. As velhas e enraizadas políticas serão substituídas pelas novas, melhorando os resultados. Pode-se levar algum tempo até que as respostas sejam percebidas na prática, dependendo do problema e sua complexidade.

Dois tópicos podem ser abordados na contrução de um SD:

- a) Diagrama Casual Loop;
- b) Diagrama de Estoque e Fluxo.

A principal aplicação do diagrama de Loop Causal (CLD), são os *feedbacks* gerados pelas variáveis, atualizando o modelo ao longo do tempo simulado [6].

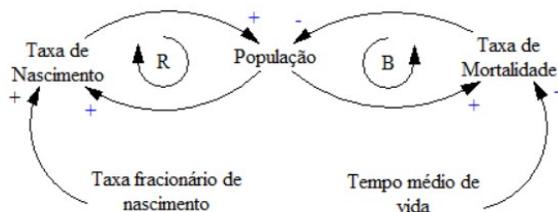


Figura 2. Diagrama de Fluxo Casual

Na representação da Figura 2, as setas indicam uma influência, um impacto que uma variável tem sobre a outra. O sinal positivo (+) denota que caso a variável causa aumente, a variável efeito aumentará também. O sinal negativo (-) mostra o oposto, aumentando a taxa de mortalidade, a população diminuirá. Matematicamente, a polaridade é o sinal do cálculo de tudo controlado teoricamente, resultado de um ganho ou perda em um *loop* [3] (2).

$$\text{Polaridade do loop} = \text{SGN} \left(\frac{\partial x_1^0}{\partial x_1^1} \right) \quad (2)$$

Os *loopins* são representados por “R” (*Reinforcing*) e “B” (*Balancing*). *Reinforcing* denota que o ciclo sofrerá um aumento ou decréscimo nas variáveis envolvidas, contribuindo para o comportamento do sistema. *Balancing* é o processo de equilíbrio entre as variáveis, ou seja, o incremento de uma diminui a outra, ocorrendo uma compensação.

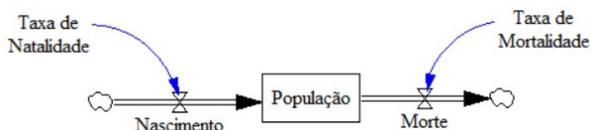


Figura 3. Diagrama de Estoque e Fluxo

Seguindo a mesma característica do CLD, os diagramas de Estoque e Fluxo dão uma ênfase maior no *feedback* criando uma estrutura física para o modelo. Representado pela Figura 3, as variáveis são transformadas em acumuladores de informações, dados ou materiais ao longo do processo de simulação. Estoques armazenam as informações, enquanto os Fluxos são as taxas que alteram os dados no sistema. Com a tomada de decisão sobre as variáveis estoque, alteram-se as taxas ao longo do processo simulado, criando assim o *feedback* [3].

III. MODELO CONCEITUAL

Como demonstrado na Figura 4, o modelo proposto nesse artigo mostra o comportamento populacional dos seis grupos, considerados prioritários para o Ministério da Saúde.

Nos idosos, foi representado a quantidade de adultos que chegam aos 60 anos de idade e a taxa de mortalidade, que está atrelada ao tempo médio esperado de vida. De acordo

com a pesquisa levantada [1], os idosos atrelaram algumas crenças populares, já descritos no artigo, como fatores impactantes nas doses aplicadas, mas o conhecimento da campanha fez parte aderirem ao programa.

Tanto quanto para as puérpuras como para as gestantes, em uma pesquisa realizada [12], notou-se uma grande adesão a vacinação do *influenza*, com a forte presença do convencimento dos médicos e das campanhas do governo.

Por falta de pesquisas e dados, os fatores associados para a adesão da população indígena não foram considerados.

Para os trabalhadores de saúde, recomendação, e confiança nas vacinas e sua eficácia, foram os fatores positivos para uma maior cobertura vacinal [13]. Sendo questões de melhor planejamento, como esquecimento e falta de tempo, as questões que diminuíram as doses aplicadas nesse grupo.

O grupo prioritário das crianças, como dito anteriormente, os pais são os que decidirão se os filhos devem ser vacinados, mas eles devem ser informados que as crianças podem diminuir a quantidade de casos de *influenza* no Brasil.

Por fim, a soma de todos os grupos prioritários impactam no PNI. Investimentos em publicidade podem aumentar a adesão da população, com isso, os investimentos em logística de abastecimento devem ser incrementados para suportar o número maior de doses de vacinas.

IV. DISCUSSÃO

O modelo conceitual sugerido por este artigo possui uma abordagem diferente do que apresentado no artigo [8]. Com uma maior profundidade nas questões relacionadas a adesão ao programa de vacinação de cada grupo de população, o artigo propõe um SD para a realidade brasileira. Com o modelo conceitual construído, o próximo passo para projetos futuros, será a transformação para um modelo computacional, atribuindo dados as variáveis do sistema. Com isso, após validação, poderá ser realizado rodadas de simulação para auxiliar nas tomadas de decisões nas políticas que podem ser adotadas para melhorar a cobertura vacinal, diminuindo a quantidade de casos decorrentes do vírus *influenza*.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu professor orientador, José Eduardo Pecora Junior e ao meu co-orientador, professor Gustavo Valentim Loch, pelo grande auxílio na elaboração desse projeto. Como em um SD, os seus *feedbacks* também foram de extrema importância. Agradeço também ao Grupo de Tecnologia Aplicado à Otimização (GTAO) pelo suporte diário nas pesquisas e estudos.

REFERÊNCIAS

- [1] Ricardo Barros, “Ministério da Saúde amplia vacinação em todas as faixas etárias.” [Online]. Available: <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/secretarias/svs/noticias-svs/27749-ministerio-da-saude-amplia-vacinacao-em-todas-as-faixas->

etarias-2. [Accessed: 10-Sep-2017].

- [2] K. A. Poehling *et al.*, "The Underrecognized Burden of Influenza in Young Children," *New England Journal of Medicine*, vol. 355, no. 1, pp. 31–40, Jul. 2006.
- [3] Marta Dionina Mendonça dos Santos and Luiza Helena de Oliveira Cazola, "Adesão à vacina de influenza na área urbana de Aquidauana-MS coberta pelo Programa Saúde da Família," vol. 17, no. 2, pp. 145–148, 2008.
- [4] D. Weycker *et al.*, "Population-wide benefits of routine vaccination of children against influenza," vol. 23, pp. 1284–1293, 2005.
- [5] E. M. Flood *et al.*, "Parents' decision-making regarding vaccinating their children against influenza: A web-based survey," *Clinical Therapeutics*, vol. 32, no. 8, pp. 1448–1467, 2010.
- [6] J. Sterman, *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. 2000.
- [7] J. W. Forrester, "Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers," *Harvard Business Review*, vol. 36, no. 4, pp. 37–66, 1958.
- [8] A. S. Rwashana, D. W. Williams, and S. Neema, "a case study of Uganda," vol. 15, no. 2, pp. 95–107, 2009.
- [9] J. W. Forrester, "System Dynamics and the Lessons of 35 Years by," *A SystemsBased Approach to Policymaking*, vol. 3, no. 2, pp. 1–35, 1991.
- [10] J. W. Forrester, "soft OR," *System Dynamics Review*, vol. 10, no. January, pp. 245–256, 1994.
- [11] A. M. Hodgson, "Hexagons for systems thinking," *European Journal of Operational Research*, vol. 59, no. 1, pp. 220–230, May 1992.
- [12] R. de Á. Kfoury and R. Richtmann, "Influenza vaccine in pregnant women: immunization coverage and associated factors.," *Einstein (Sao Paulo, Brazil)*, vol. 11, no. 1, pp. 53–7, 2013.
- [13] T. Pereira *et al.*, "FATORES ASSOCIADOS À VACINAÇÃO CONTRA INFLUENZA ENTRE TRABALHADORES DE SAÚDE DE UM COMPLEXO HOSPITALAR DE SALVADOR."

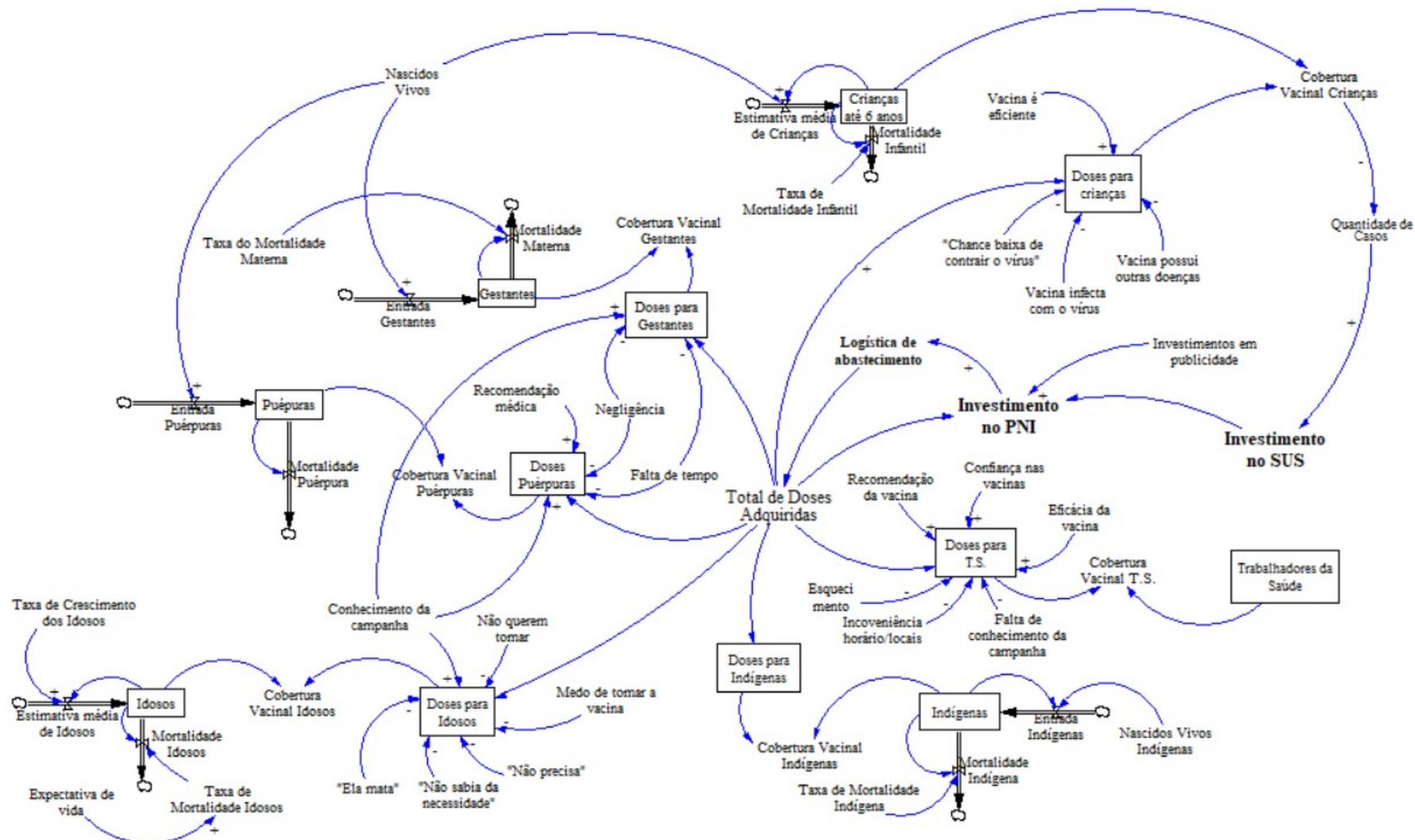


Figure 5. Modelo Conceitual da Gestão da Vacina