

# Simulação baseada em agentes para atendimentos em saúde com eventos estocásticos

Nécio de Lima Veras<sup>1</sup>, Mariela I. Cortés<sup>2</sup>, Gustavo A. Lima de Campos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)  
Rodovia CE-075, s/n - Aeroporto – Tianguá - Ceará

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza, CE - Brasil

necio.veras@ifce.edu.br, {mariela, gustavo}@larces.uece.br

**Abstract.** *Tentative of put in practice a planning to the offer of health services commonly has problems because of the occurrence of undesirable events. These events happen in a random way and they influence in a negative form the access and quality indicators of the planned services. This work presents a agent-based (computer) simulation to execute of schedules planned by an agent in a virtual environment for treatment, considering different scenarios to the evolution of treatments in an intermission of one planned year. The solution specifies three environments based on artifacts involving in scenarios registering the statistic behavior of the health indicators.*

**Resumo.** *A execução de um planejamento para a oferta de serviços em saúde constantemente sofre desvios por conta da ocorrência de eventos indesejados. Esses eventos acontecem de maneira estocástica e influenciam negativamente indicadores de acesso e qualidade para os serviços planejados. Este artigo apresenta uma simulação (computacional) baseada em agentes para simular a execução de agendas planejadas por um agente em um ambiente virtual de atendimentos, considerando diferentes cenários para a evolução dos atendimentos em um intervalo de tempo compatível com um ano de planejamento. A solução especifica três ambientes baseados em artefatos que evoluem em cenários registrando o comportamento estatístico dos indicadores de saúde.*

## 1. Introdução

Simulações computacionais nas ciências sociais englobam o conhecimento oriundo de teorias e fenômenos sociais para incorporá-los a um modelo científico-social em computadores, normalmente definidos por meio de sociedades de agentes inteligentes. Com essa infraestrutura artificial é possível simular ações e interações de agentes, recriando comportamentos sociais para analisar os efeitos nos próprios agentes [David and Sichman 2013]. Neste sentido, nos últimos anos diversas aplicações para simulação baseada em agentes têm sido exploradas, tais como: sistemas econômicos, robóticos, ecológicos, tráficos e transportes, dentre outros [Davidsson et al. 2007].

Na saúde, segundo [Jacobson et al. 2013], nos últimos 40 anos as organizações de saúde tem enfrentado constantes pressões para prestarem melhores cuidados associado com custos crescentes, reembolsos mais baixos e exigências regulamentares adicionais. Para os autores, as simulações de eventos discretos tornaram-se uma aliada eficaz no

processo de tomada de decisão, pois a alocação ótima de recursos escassos pode melhorar problemas como o fluxo de pacientes, minimizar os custos de prestação de cuidados de saúde e aumentar a satisfação dos pacientes.

No Brasil, objetivando criar um parâmetro comparável para promover a melhoria do acesso e da qualidade da atenção à saúde, estabeleceu-se em 2011 o Programa Nacional de Melhoria do Acesso e da Qualidade da Atenção Básica (PMAQ-AB). O programa contém indicadores que podem determinar os valores dos parâmetros de qualidade para o acesso e para a oferta de serviços em saúde [BRASIL 2012].

O planejamento e o monitoramento de valores para os indicadores de saúde estabelecidos pelo PMAQ não é uma tarefa trivial, tendo em vista que são valorados diariamente conforme a oferta dos serviços de uma equipe multiprofissional. Em [Veras et al. 2014b] é apresentada uma arquitetura computacional inteligente para dar suporte ao planejamento de serviços orientado por metas de forma a auxiliar na avaliação do desempenho das equipes e na sua melhoria progressiva levando em conta recursos e demandas locais. O artigo especifica agentes capazes de planejar e monitorar os serviços para melhorar o desempenho das equipes conforme os indicadores do PMAQ. O problema do planejamento inteligente orientado por metas proposto no artigo é formalmente definido em [Veras et al. 2014a], porém em nenhum dos dois trabalhos foram realizadas simulações considerando eventos inspiradas no mundo real capazes de desviar a execução do planejamento dos atendimentos de maneira a coletar dados sobre o comportamento dos indicadores em cenários específicos.

Assim, o presente artigo objetiva apresentar uma simulação baseada em agentes capaz de retratar em um ambiente computacional a execução de serviços em saúde planejados por um agente que usa técnicas de otimização orientada por metas conforme os indicadores do PMAQ-AB. O trabalho incorpora na simulação eventos que acontecem estocasticamente e influenciam de forma negativa os indicadores. Visa-se com isso, retratar fatores do mundo real para coletar dados sobre o comportamento dos indicadores em relação ao planejamento e, com isso, analisar a eficiência da abordagem diante desses cenários. Para tanto, são considerados diferentes cenários que simulam a evolução dos atendimentos em um intervalo de tempo compatível com um ano de planejamento.

## **2. Trabalhos relacionados**

A medicina tem recebido contribuições da Inteligência Artificial desde o final dos anos 60 [Patel et al. 2009] e no início dos anos 90 foi classificada como “adolescente” por [Shortliffe 1993]. Logo percebeu-se que paradigmas computacionais clássicos não seriam suficientes para representar sistemas com ambientes dotados de processos e interações complexos [Fox et al. 2003]. A tecnologia dos agentes inteligentes tem emergido nos últimos anos como um paradigma promissor que objetiva o desenvolvimento de sistemas complexos e a sua utilização no âmbito da medicina tem mostrado melhorias no desempenho destes sistemas em relação à interoperabilidade, escalabilidade e reconfigurabilidade, especialmente pelas características favoráveis para a criação de modelos de simulação [Isern et al. 2010] [Cardoso et al. 2014].

Em [Isern et al. 2010] foi realizada uma revisão de literatura entre os anos de 2002 e 2008 sobre a utilização da tecnologia de agentes na área da saúde. A simulação baseada em agentes foi uma das áreas categorizadas por meio dos sistemas identificados pela pes-

quisa. Dentre os sistemas descritos no trabalho, o *framework* **Agent.Hospital** destaca-se por ser designado para aplicações distribuídas na área da saúde e por fornecer diferentes interfaces para integrar sistemas de informação pré-existentes. Existem diversos componentes dentro da arquitetura do sistema e, dentre eles, o **SeSAM**, que é um ambiente de simulação para ser utilizado por profissionais da saúde capazes de criar cenários para simulações. Um outro trabalho simula o ambiente dinâmico de um hospital para a criação de um agendamento de planos de tratamentos complexos [Wiesman et al. 2006]. Para isso, é realizada uma coordenação entre todos os departamentos por meio de agentes de software autônomos capazes de simular uma negociação entre eles para a criação de consultas para o tratamento de pacientes.

Esta seção relaciona alguns trabalhos que têm sido desenvolvidos aplicando técnicas inteligentes na saúde e mostra que, resultados positivos em contextos internacionais, tem sido alcançados. As pesquisas evidenciam simulações com arquiteturas de sistemas inteligentes aplicados à área da saúde, no entanto, não são estendidos à atenção primária de saúde.

### 3. Um ambiente virtual de atendimentos baseado em artefato

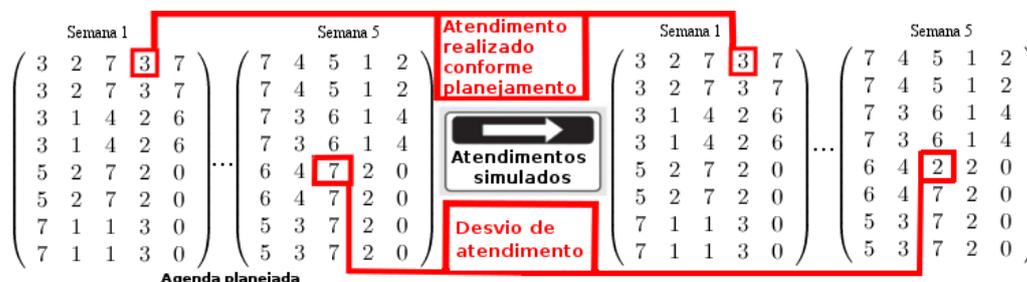
Um serviço de saúde alocado estrategicamente em uma agenda de atendimentos torna-se efetivamente um atendimento quando o mesmo é executado por um profissional em algum ambiente. Um ambiente virtual de atendimentos em saúde deve simular a execução dos serviços contidos em uma agenda mensal qualquer. Para isso, o ambiente virtual criado na presente pesquisa baseia-se em artefatos de ambiente de agentes da tecnologia Cartago [Ricci et al. 2009] e considera duas estruturas idênticas de agendas para representar, respectivamente, as agendas planejadas e os atendimentos simulados. O ambiente possui além disso duas propriedades observáveis por agentes que correspondem (1) a ocorrência de eventos negativos que atrapalham a execução das agendas planejadas e (2) uma estrutura para indicar o exato momento (semana, dia e instante  $k$ ) da evolução do ambiente. Na Figura 1 é possível visualizar o ambiente virtual criado. O modelo visual usa a representação gráfica dos elementos de um artefato ambiental conforme [Ricci et al. 2011].



**Figura 1. Modelo visual para o Ambiente Virtual de Atendimentos.**

A operação *Simular* é uma ação externa (motivada por agentes) que autoriza o início da simulação, transformando os serviços planejados em atendimentos simulados. A simulação aplica os serviços encontrados nas agendas planejadas na estrutura “espelho” que representa os atendimentos simulados, considerando a ocorrência de eventos. Dessa forma é possível simular a ocorrência de eventos negativos capazes de desviar a execução dos serviços planejados e, conseqüentemente, prejudicar a valoração dos indicadores. A Figura 2 exemplifica a ocorrência de um evento e demonstra como acontece o desvio em

um serviço planejado. No exemplo de um atendimento realizado conforme o planejamento, um serviço com  $id = 3$  foi alocado na agenda planejada e também foi alocado na agenda simulada. No outro exemplo destacado pela figura, o serviço com  $id = 7$  foi alocado na agenda planejada, porém, na agenda simulada foi alocado um outro com  $id = 2$ , registrando a ocorrência de um desvio na execução do serviço originalmente planejado.



**Figura 2. Exemplo de desvio na execução de um atendimento planejado.**

A operação *Gerar\_eventos* usa eventos associados à cada serviço ofertado para, durante a simulação dos atendimentos, dispará-los aleatoriamente ou estocasticamente, dependendo do serviço planejado para o instante  $k$  e do cenário a ser simulado. As simulações propostas nessa pesquisa utilizam eventos idealizados a partir de observações e análise de documentos (livros de ocorrências) de uma unidade básica de saúde do município de Viçosa do Ceará.

A *Funcao\_evolucao* corresponde à forma como o ambiente simulado de atendimentos evolui em função do tempo. Cada transição do ambiente marca uma evolução de um momento  $m$ , constituído por instantes  $k$ , dias e semanas. O ciclo completo da evolução do ambiente denota o final de um mês de atendimentos simulados. Em uma visão simplificada do processo evolucionário do ambiente nota-se que para cada momento do mês correspondente à simulação do serviço alocado na agenda planejada é executado (alocado) na agenda simulada (dos atendimentos), caso nenhum evento negativo aconteça.

É importante destacar que nas simulações, durante o processo de alocação dos serviços na agenda dos atendimentos simulados, foram realizados dois grupos de testes. No primeiro, nenhum serviço alternativo em relação ao que foi planejado será executado caso um evento aconteça. No segundo, um serviço alternativo foi alocado na agenda de atendimentos simulados caso um evento aconteça. Dessa forma, os eventos possibilitam retratar fatores do mundo real para observar o comportamento dos indicadores em relação às metas e ao planejamento proposto.

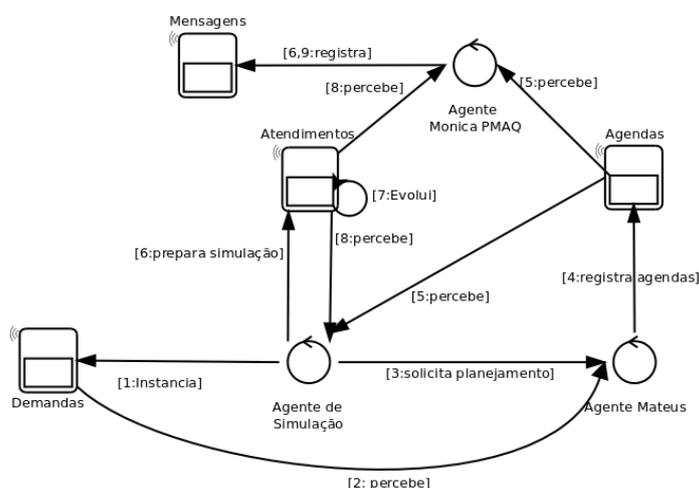
#### 4. Simulação de cenários com eventos estocásticos

Objetivando usar a abordagem proposta em [Veras et al. 2014b] no ambiente virtual de atendimentos descrito na Seção 3, criou-se diferentes cenários para simular a evolução do ambiente de atendimentos, levando em conta semelhanças em relação à forma como eventos contingentes ocorrem no mundo real. Para isso, considerou-se que as agendas mensais são estáticas em relação à remarcação de atendimentos que ocorrem no mesmo mês. Isso deu-se por conta de uma dificuldade presente no ambiente real em reagendar os pacientes em um curto período de tempo.

Todas as simulações foram realizadas em um único computador e executada trinta vezes, gerando assim uma amostra dos dados sobre cada cenário. Os testes estatísticos

objetivaram verificar se a similaridade estatística entre os dados das simulações, em qualquer uma das execuções, poderiam ser comparadas com um nível de significância de 95% em relação à média dos dados produzidos em cada cenário. Para isso, analisou-se toda a amostra em busca de verificar se a média dos serviços executados em cada cenário simulado é estatisticamente igual. Se comprovado então as trinta execuções de cada um dos cenários gera dados estatisticamente semelhantes.

O fluxo geral da arquitetura proposta para a simulação dos cenários pode ser visualizado na Figura 3. Na proposta, um Agente de Simulação assume o papel da Equipe e coordena a configuração das variáveis que determinam as demandas e metas. Além disso, o agente interage com o Ambiente de Atendimentos coordenando todos os ciclos da simulação, independente do número de meses que serão gerados.



**Figura 3. Fluxo para a simulação de atendimentos. Fonte: primária.**

Assim, foram criados nesta pesquisa três cenários para os dois grupos de testes (com e sem serviços alternativos) com diferentes formas de aplicação dos eventos negativos na simulação dos atendimentos. Nesse momento, objetivou-se nos testes dos cenários a observação do comportamento dos indicadores diante da influência dos eventos em um ciclo de evolução equivalente à um mês de planejamento/simulação.

Em todos os cenários simulados o Agente Mateus usou como instância os dados populacionais de uma equipe de saúde conforme apresentado em [Veras et al. 2014a], assim como, configuração de recursos humanos a combinação de profissionais indicada pelos autores como a melhor para a instância apresentada, a saber: 2 enfermeiros, 2 médicos e 3 odontólogos.

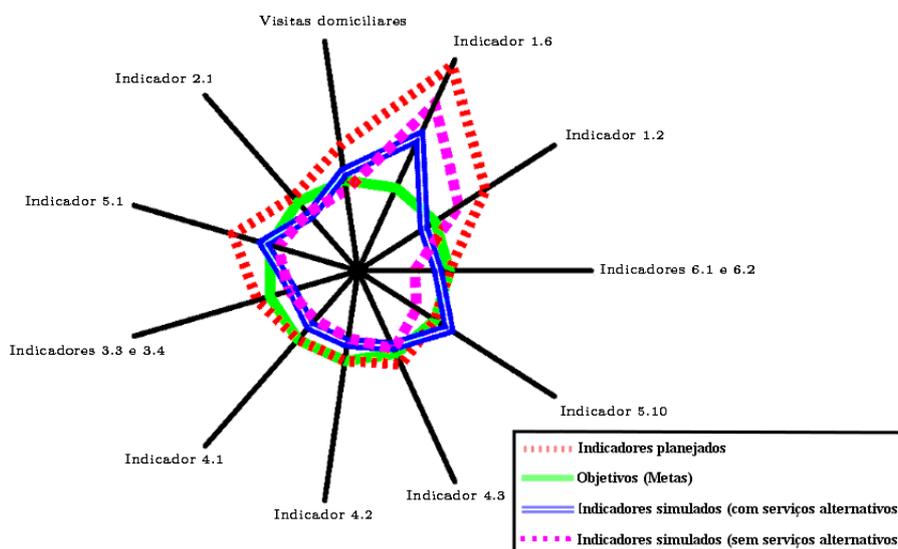
#### 4.1. Cenário 1: Probabilidade fixa

No Cenário 1, o ambiente de atendimento evolui alocando os serviços na agenda simulada conforme o planejamento, considerando uma probabilidade única de 30% para que ocorra um evento qualquer associado ao serviço ofertado em cada momento da evolução.

Os resultados das simulações com este cenário indicam uma tendência média dos desvios negativos em torno de 30% para os testes sem os serviços alternativos e 20% com os serviços alternativos em relação à oferta dos serviços planejados. O gráfico da Figura 4 mostra o comportamento dos indicadores nos testes sem serviços alternativos

demonstrando que alguns indicadores (1.6, 1.2, 2.1, 3.3, 3.4 e 4.3) obtiveram maiores valores em relação aos testes com os serviços alternativos, no entanto, apenas dois acima da meta (1.6 e 1.2). O gráfico atesta a regularidade fixa programada da influência dos eventos no planejamento, detectada pelo agente Monica PMAQ e registrada no ambiente de Mensagens.

Em um dos testes com e sem serviços alternativos, haviam sido planejados pelo Agente Mateus, respectivamente, 1043 e 1057 serviços distribuídos entre os sete profissionais da equipe. Ao final da evolução em ambos os casos, o Ambiente de Atendimentos registrou a execução de 838 (80,34%) e 756 (71,52%) serviços e a ocorrência de 205 (19,55%) e 301 (28,48%) eventos negativos. Dessa maneira, mesmo com a ocorrência dos eventos no teste sem os serviços alternativos, dois indicadores (1.6 e 1.2) permaneceram acima da meta, enquanto que nove sofreram queda em seus valores. Já no teste com os serviços alternativos, quatro indicadores (1.6, Visitas domiciliares, 5.1 e 5.10) superaram a meta e sete ficaram abaixo do desejado.



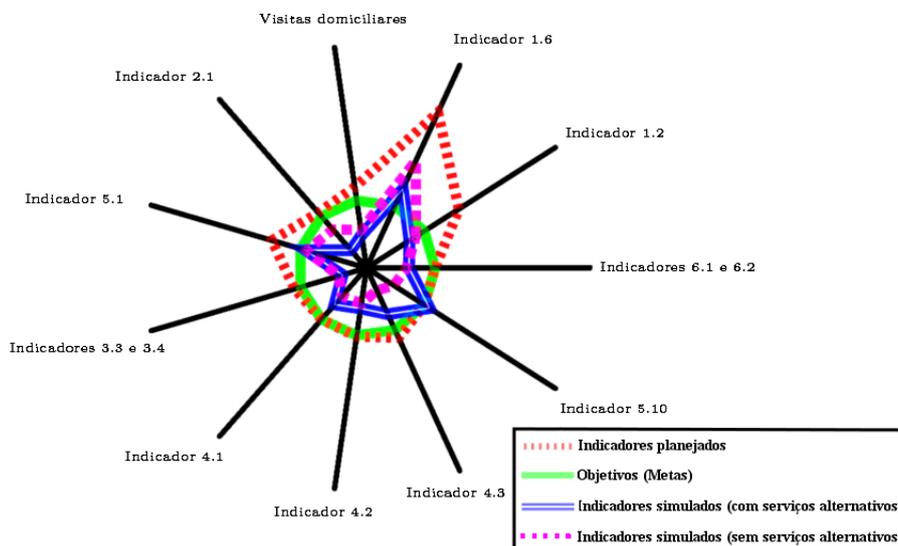
**Figura 4. Indicadores após simulação no cenário 1. Fonte: primária.**

Assim como neste cenário, qualquer outro o gráfico possuirá as metas configuradas a partir da atuação do Agente de Simulação no ambiente de Demandas. Os indicadores planejados advém do Ambiente das Agendas geradas por meio das ações do Agente Mateus, enquanto que os indicadores simulados surgem durante a evolução do Ambiente de Atendimento. Os dois tipos de indicadores são calculados pelo Agente Monica PMAQ e registrados no Ambiente de Mensagens. Objetivando visualizar os dados gerados, foram plotados gráficos para cada cenário de evolução do ambiente, demonstrados a seguir.

#### 4.2. Cenário 2: Probabilidade fixa aleatória

O Cenário 2 evolui como uma variação do Cenário 1, porém, considera uma probabilidade aleatória com um valor entre 1 e 99 configurada a cada momento da evolução do ambiente. As simulações do cenário resultaram em um desvio negativo médio de 49% em relação aos serviços planejados para os testes sem os serviços alternativos e de 33% com os serviços planejados, como podem ser percebidos no gráfico da Figura 5. O cenário

buscou demonstrar o que poderia acontecer com os indicadores em um ambiente consideravelmente caótico, tendo em vista que a todo momento há uma chance aleatorizada que algum problema ocorra.



**Figura 5. Indicadores após simulação no cenário 2. Fonte: primária.**

Em uma das simulações, o Agente Mateus planejou a execução de 1040 (com serviços alternativos) e 1049 (sem serviços alternativos) serviços, porém, ao final das simulações, o Agente Monica PMAQ registrou no ambiente de mensagens 565 (63,94%) para os testes com serviços alternativos e apenas 575 (54%) serviços executados no segundo teste. Durante as simulações ocorreram 375 (36,06%) e 474 (46%) eventos negativos, respectivamente. É importante destacar que, dentre os onze indicadores englobados na presente pesquisa, no primeiro teste apenas dois (5.10 e 1.6) mantiveram seus valores acima da meta da equipe. No segundo caso, um único indicador (1.6) foi valorado acima da meta. Com isso, o cenário de fato conseguiu reproduzir um ambiente caoticamente adverso e observar o comportamento dos indicadores por meio da atuação do Agente Monica PMAQ.

### 4.3. Cenário 3: Probabilidades associadas aos eventos

De posse dos resultados gerados com os cenários 1 e 2, faz-se necessário refletir sobre eles elencando o seguinte questionamento: até que ponto um cenário com probabilidade única (fixa ou aleatória) para a ocorrência de eventos pode retratar a realidade local de uma equipe de saúde? Neste sentido, parece ser mais realista estabelecer uma probabilidade individual para cada evento e, desse modo, subsidiar formas para compor, calcular e associar os riscos com a ocorrência dos eventos quando considerado um cenário maior que um mês. Partindo disso, o terceiro cenário objetiva aproximar as simulações de um ambiente real de uma Unidade Básica de Saúde. Em busca de fiabilidade para os resultados da simulação nesse novo cenário, consultou-se dez profissionais oriundos de três Equipes de Saúde da Família do município de Viçosa do Ceará. Foi solicitado que os profissionais determinassem valores individuais para as probabilidades de cada evento. Ao final, as equipes sugeriram probabilidades uniformes com valores globais variando entre 1 e 20%, dependendo do serviço ofertado e do evento associado.

O gráfico da Figura 6 traduz os resultados de uma das simulações no cenário atual, demonstrando um desvio médio aproximado de 3,3% para os testes com serviços alternativos e de 5% para os testes sem os serviços alternativos. Com essa configuração, o ambiente de atendimento evoluiu e simulou a execução de 1018 dos 1052 serviços planejados pelo Agente Mateus para o primeiro caso de testes, correspondendo a aproximadamente 96,7% da oferta. No segundo caso, foram executados em torno de 95% dos serviços planejados (993 de um total de 1045). Ao final das simulações no primeiro teste, nove indicadores ficaram acima da meta e apenas dois (4.1 e 4.2) finalizaram com seus valores minimamente abaixo da meta. Para o segundo caso (sem os serviços alternativos), seis indicadores encerraram com seus valores acima da meta e cinco abaixo (4.1, 4.2, 4.3, 5.10 e os indicadores 6.1 e 6.2).

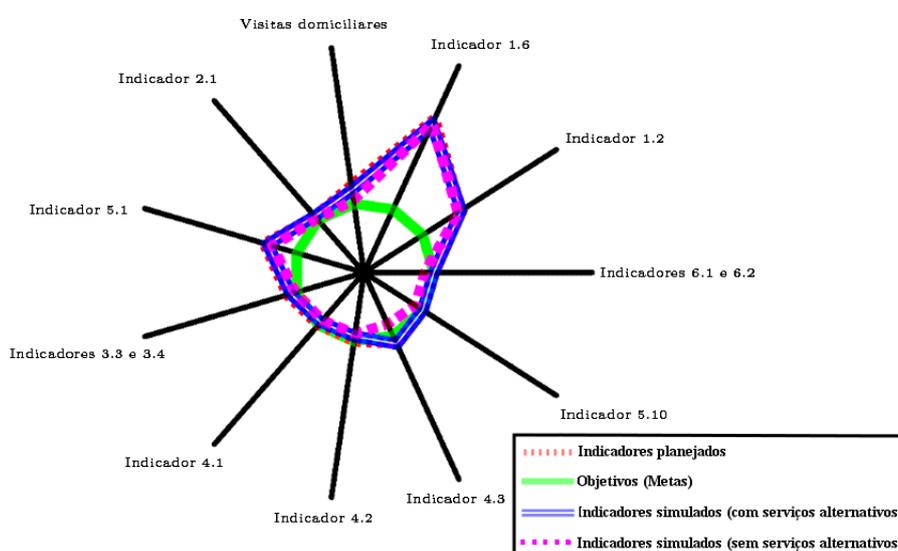


Figura 6. Indicadores após simulação no cenário 3. Fonte: primária.

## 5. Ampliação da simulação

Os cenários apresentados ressaltam resultados interessantes sobre o comportamento dos indicadores em situações distintas, resumidos pela Tabela 1.

Tabela 1. Resumo dos resultados da simulação de um mês nos três cenários<sup>1</sup>.

Cenário <sup>2</sup>	Serviços Alternativos	Total de indicadores monitorados	Indicadores acima da meta	Indicadores abaixo da meta	Percentual de serviços executados (%)
C1	Com	11	4	7	80,34
	Sem		2	9	71,52
C2	Com		2	9	63,94
	Sem		1	10	54,81
C3	Com		9	2	96,76
	Sem		6	5	95,02

<sup>1</sup>Fonte: Primária

<sup>2</sup>Cenários: C1: Probabilidade fixa; C2: Probabilidade fixa aleatória; C3: Probabilidades associadas aos eventos

A Tabela 2 exibe dados da Estatística Descritiva sobre a situação dos indicadores ao final das simulações, assim como, o resultado (*p-valor*) do teste estatístico de *t-student* sobre o percentual dos serviços executados, que mede a influência dos eventos negativos sobre o planejamento. A escolha desse teste deu-se a partir dos resultados positivos sobre

os testes de normalidade para a distribuição do percentual de serviços executados em toda a amostra em relação à sua média. O teste *t-student* para média de uma amostra consiste em medir a probabilidade do valor para a média da amostra em questão apresentar um valor observado ou, ainda, um outro valor mais extremo quando dada a média da amostra.

**Tabela 2. Dados estatísticos sobre os resultados da simulação de um mês nos três cenários<sup>1</sup>.**

Cenário <sup>2</sup>	Serviços Alternativos	Indicadores		Serviços executados			
		DP <sup>3</sup>	Variância	Média (%)	DP <sup>3</sup>	Variância	<i>p-valor</i>
C1	Com	1.10	1.21	80.3	1.52	2.32	0.9388
	Sem	1.25	1.56	70.9	1.26	1.60	0.8097
C2	Com	0.81	0.67	67.4	1.42	2.04	0.9005
	Sem	0.54	0.30	51.4	1.28	1.64	0.9935
C3	Com	0.91	0.83	97.0	0.57	0.33	0.6826
	Sem	0.91	0.83	94.8	0.69	0.48	0.8809

<sup>1</sup>Fonte: Primária

<sup>2</sup>Cenários: C1: Probabilidade fixa; C2: Probabilidade fixa aleatória; C3: Probabilidades associadas aos eventos

<sup>3</sup>Desvio padrão

A análise realizada visou atestar a semelhança estatística dos resultados gerados pelas simulações em relação à influência dos eventos negativos no planejamento, provando que não há alterações relevantes entre os dados da amostra (trinta execuções da simulação) no tocante à média dos serviços executados. Vale ressaltar que foi utilizada como apoio aos testes estatísticos a ferramenta de computação estatística R [Gentleman et al. 2015].

Com isso, a Tabela 2 permite concluir que os dados oriundos das amostras (trinta execuções) das simulações nos três cenários considerando 1 mês de planejamento são estatisticamente iguais com significância de 95% podendo atingir uma probabilidade de 99,35% para o valor da média dos serviços executados ser de fato o valor encontrado pelas simulações, como foi o caso do cenário 2 sem serviços alternativos. Essa probabilidade pode ser percebida por meio do *p-valor* de cada cenário. Além disso, os baixos valores de variância e desvio padrão para os indicadores confirmam os valores gerados pela abordagem apresentados na Tabela 1.

Embora a maioria dos indicadores permaneceram acima da meta no último cenário, dito mais realista, isso não significa que eles irão manter o mesmo comportamento em um espaço de tempo equivalente a um ano de atendimentos. Além disso, é conveniente lembrar que o processo de avaliação do PMAQ poderá punir equipes cujos indicadores piorem por três meses ou mais. Portanto, faz-se necessário a ampliação dos ciclos da simulação para, no mínimo, 12 meses de planejamento e execução. Ao ampliar os ciclos da simulação para doze meses obtivemos dados idênticos aos citados nas subseções anteriores, porém, para cada mês simulado. Com isso, o Agente Monica PMAQ registra informações sobre o acompanhamento de cada indicador ao longo dos meses que compõem o ciclo da simulação. A Tabela 3 resume os resultados do monitoramento de todos os indicadores nos três cenários, considerando o ciclo com doze meses de evolução.

Na Figura 7 é possível visualizar um exemplo do monitoramento exercido pelo Agente Monica PMAQ sobre o indicador 2.1, executado durante a evolução completa do ciclo de 12 meses para o Cenário 3 nos testes com serviços alternativos. O gráfico revela que o planejamento manteve-se estável durante praticamente todo o ciclo evolucionário. Como os eventos acontecem estocasticamente as influências negativas variaram bastante durante o ciclo e em alguns momentos (4 meses) o indicador não possuiu seu valor estabilizado acima da meta, mesmo com os serviços alternativos. No mês 2, observa-se

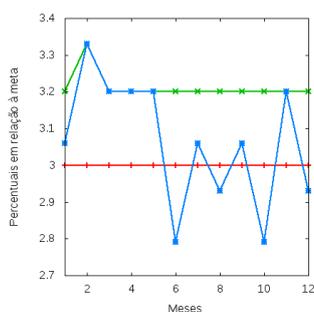
**Tabela 3. Resumo dos resultados da simulação com um ciclo de doze meses nos três cenários<sup>1</sup>.**

Cenário <sup>2</sup>	Serviços Alternativos	Total de indicadores monitorados	Indicadores acima da meta	Indicadores abaixo da meta	Percentual de serviços executados
C1	Com	132	49	83	80,07
	Sem		31	101	80,34
C2	Com		28	104	67,41
	Sem		13	119	51,95
C3	Com		83	49	94,46
	Sem		79	53	90,51

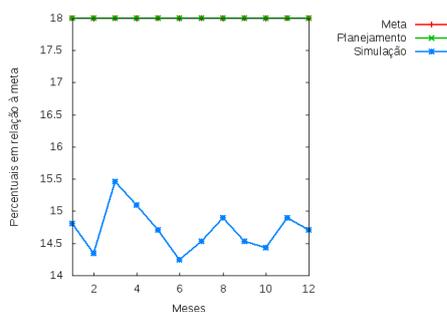
<sup>1</sup>Fonte: Primária

<sup>2</sup>Cenários: C1: Probabilidade fixa; C2: Probabilidade fixa aleatória; C3: Probabilidades associadas aos eventos

uma pequena elevação no planejamento, dado durante a geração das agendas pelo Agente Mateus ao usar suas heurísticas de otimização. Não coincidentemente, no mesmo mês, o valor simulado do indicador também obteve um valor crescente. Esses dois fatores evidenciam que os indicadores sofrem influências tanto do planejamento quanto dos eventos negativos.



**Figura 7. Monitoramento do indicador 2.1 no Cenário 3 com serviços alternativos. Fonte: primária.**



**Figura 8. Monitoramento do indicador 4.1 no Cenário 3 com serviços alternativos. Fonte: primária.**

Em um outro exemplo, o indicador 4.1, sofre demasiadamente com a ação negativa dos eventos, pois em nenhum momento do ciclo o indicador foi valorado próximo à meta. Vê-se pelo gráfico da Figura 8 que, mesmo diante das ações negativas exercidas pelos eventos, o Agente Mateus não é capaz de recalculer seu planejamento com base nos dados gerados pelos eventos e, ao contrário disso, ele mantém seu planejamento fixo durante o ciclo completo da evolução.

Os gráficos da Figuras 7 e 8 mostram um certo grau de variação dos indicadores em função da evolução do ambiente, principalmente, por conta da influência negativa com características estocásticas sofrida por meio dos eventos que “desviam” a execução do planejamento. O ambiente simulado de atendimentos dispara probabilisticamente os eventos e estes exercem verdadeira influência nos indicadores durante a evolução do ambiente, causando como consequência do disparo probabilístico de eventos, valores mais altos para a variância dos indicadores em comparação com a simulação de 1 mês. Conclui-se que esses valores são evidenciados com o aumento do tempo das simulações para o correspondente a doze meses. A Tabela 4 mostra os resultados estatísticos do monitoramento dos indicadores nos três cenários, comprovado as características estocásticas para

a ocorrência dos eventos durante as simulações.

**Tabela 4. Dados estatísticos sobre os resultados da simulação de doze meses nos três cenários<sup>1</sup>.**

Cenário <sup>2</sup>	Serviços Alternativos	Indicadores acima da meta			Indicadores abaixo da meta		
		Média	DP <sup>3</sup>	Variância	Média	DP <sup>3</sup>	Variância
C1	Com	45.1	4.07	16.62	86.1	3.35	11.26
	Sem	29.9	3.12	9.74	100.6	4.20	17.09
C2	Com	24.9	2.39	5.75	103.7	4.13	16.52
	Sem	11.5	2.01	4.04	118.2	4.11	16.37
C3	Com	92.9	4.08	16.68	36.8	2.99	8.64
	Sem	75.5	4.25	18.11	53.9	3.33	10.75

<sup>1</sup>Fonte: Primária

<sup>2</sup>Cenários: C1: Probabilidade fixa; C2: Probabilidade fixa aleatória; C3: Probabilidades associadas aos eventos

<sup>3</sup>Desvio padrão

É importante frisar que, com o aumento do tempo da simulação, não houve alteração estatística em relação a média do percentual dos serviços executados. Isso implica que a quantidade de serviços executados em cada cenário é praticamente a mesma em toda a amostra, conseqüentemente, as variações se dão nas execuções dos serviços ofertados. Esse comportamento certifica o padrão na evolução do ambiente simulado nos cenários descritos em relação à ocorrência dos eventos e solidifica o comportamento estocástico desses eventos em relação à influência negativa dos indicadores, pois a primitiva básica dos indicadores (os serviços alocados nas agendas) sofre desvios não determinísticos.

## 6. Considerações finais

Este artigo objetivou apresentar uma simulação baseada em agentes para retratar em um ambiente virtual a execução de serviços de saúde planejados por um agente inteligente usando agendas de atendimento. A simulação considerou diferentes cenários para a evolução dos atendimentos em um intervalo de tempo compatível com um ano de planejamento e, para tanto, um modelo virtual foi definido contendo uma função de evolução capaz de simular cenários específicos englobando a ocorrência de eventos contingentes capazes de influenciar negativamente a execução do planejamento. Neste trabalho, três diferentes cenários foram idealizados e incorporados ao ambiente virtual.

Usando a abordagem proposta por [Veras et al. 2014b] foram realizados testes com a simulação apresentada neste artigo que enumeraram resultados satisfatórios em relação ao fortalecimento do uso da orientação por metas como estratégia de planejamento inteligente. No entanto, os avanços da abordagem obtidos a partir dos resultados das simulações apontam para uma necessidade em buscar o equilíbrio dos indicadores diante dos cenários descritos na Seção 4, pois comprovou-se que apenas o planejamento orientado por metas não é suficientemente eficaz para manter, por meio de agendas planejadas, os indicadores equilibrados em relação às suas metas em situações nas quais ocorrem eventos negativos. Como trabalhos posteriores, almeja-se equilibrar os indicadores diante desses cenários hostis ou, ainda, aproximar seus valores das metas desejadas pela equipe.

## Agradecimentos

Agradecemos os suportes financeiros fornecidos pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) por meio do edital PPSUS-11/2013 e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por meio de bolsa de estudo.

## Referências

- BRASIL, M. d. S. (2012). *Programa nacional de melhoria do acesso e da qualidade da atenção básica (PMAQ): manual instrutivo*. Ministério da Saúde: (Série A. Normas e Manuais Técnicos).
- Cardoso, L., Marins, F., Portela, F., Abelha, A., and Machado, J. (2014). Healthcare interoperability through intelligent agent technology. *Procedia Technology*, 16:1334–1341.
- David, N. and Sichman, J. S. (2013). O papel da emergência em simulações de sociedades de agentes artificiais. *Ciência e Cultura*, 65(4):36–41.
- Davidsson, P., Holmgren, J., Kyhlbäck, H., Mengistu, D., and Persson, M. (2007). Applications of agent based simulation. In *Multi-Agent-Based Simulation VII*, pages 15–27. Springer.
- Fox, J., Beveridge, M., and Glasspool, D. (2003). Understanding intelligent agents: analysis and synthesis. *AI communications*, 16(3):139–152.
- Gentleman, R., Ihaka, R., Bates, D., et al. (2015). The r project for statistical computing.
- Isern, D., Sánchez, D., and Moreno, A. (2010). Agents applied in health care: A review. *International Journal of Medical Informatics*, 79(3):145–166.
- Jacobson, S. H., Hall, S. N., and Swisher, J. R. (2013). Discrete-event simulation of health care systems. In *Patient Flow*, pages 273–309. Springer.
- Patel, V. L., Shortliffe, E. H., Stefanelli, M., Szolovits, P., Berthold, M. R., Bellazzi, R., and Abu-Hanna, A. (2009). The coming of age of artificial intelligence in medicine. *Artificial intelligence in medicine*, 46(1):5–17.
- Ricci, A., Piunti, M., and Viroli, M. (2011). Environment programming in multi-agent systems: an artifact-based perspective. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 23(2):158–192.
- Ricci, A., Piunti, M., Viroli, M., and Omicini, A. (2009). Environment programming in cartago. In *Multi-Agent Programming*., pages 259–288. Springer.
- Shortliffe, E. H. (1993). The adolescence of ai in medicine: will the field come of age in the’90s? *Artificial intelligence in medicine*, 5(2):93–106.
- Veras, N. d. L., Cortés, M. I., and Campos, G. A. L. (2014a). Planejamento de atendimentos em saúde orientado por metas. In *Proceedings do XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, pages 2781–2792. SOBRAPO.
- Veras, N. d. L., Cortés, M. I., and Campos, G. A. L. (2014b). Uma abordagem baseada em agentes para planejamento e monitoramento de serviços de saúde. In *Proceedings do VIII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações*, pages 25–36. PUCRS.
- Wiesman, F., Hasman, A., Braun, L., and van den Herik, J. (2006). Information retrieval in medicine: The visual and the invisible (information retrieval im gesundheitswesen: Das visuelle und das unsichtbare). *it-Information Technology (vormals it+ ti)*, 48(1/2006):24–32.