

O Uso de Dados de Saúde Para o Ajuste Dinâmico de Dificuldade em Jogos Sérios

Carlos Henrique R. Souza¹, Saulo S. de Oliveira¹,
Luciana de O. Berretta¹, Sérgio T. de Carvalho¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – 74.001-970 – Goiânia – GO – Brazil

¹{carloshenriquesouza, saulooliveira, luciana, sergio}@inf.ufg.br

Abstract. *The use of Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) has been implemented to enhance player retention by balancing the difficulty level of a game. However, when it comes to serious games, issues regarding the utilization of patient data by these algorithms arise. This paper aims to contribute to this discussion by presenting a modular proposal which addresses these specific concerns, based on the MAPE-K model. Additionally, a case study is presented, demonstrating the development process of the proposed approach within the context of a telerehabilitation game for patients.*

Resumo. *O Ajuste Dinâmico de Dificuldade (DDA) vem sendo utilizado para que, estando equilibrado o nível de dificuldade de um jogo, a retenção do jogador seja maior. Entretanto, no contexto dos jogos sérios, levantam-se questões acerca das especificidades inerentes ao uso dos dados do paciente. Dessa forma, o presente artigo visa contribuir para esta discussão apresentando uma proposta modularizada, baseada no modelo MAPE-K, que contemple tais particularidades. É apresentado ainda um estudo de caso, aplicando a abordagem descrita no contexto de um jogo para a telerreabilitação de pacientes.*

1. Introdução

Os chamados “jogos sérios” trazem bons resultados em diversas dimensões quando empregados na área da saúde. Ao serem aplicados com suas características de ludicidade e diversão em contextos que não se limitam ao entretenimento [Dörner et al. 2016], obtém-se uma vasta gama de possibilidades, quer seja para motivar e informar o paciente, quer seja para que o jogo se torne um instrumento de apoio e mediação durante o tratamento [Silva et al. 2017]. Dessa forma, os jogos são capazes de acrescentar uma dimensão de entretenimento para atividades que seriam cansativas e repetitivas [Souza 2022, Silva et al. 2017].

A adaptatividade em jogos digitais é um conjunto de técnicas que permitem personalizar a experiência do jogador, realizando adaptações automaticamente no jogo de acordo com a evolução da sua performance [Dörner et al. 2016]. O Ajuste Dinâmico da Dificuldade (DDA) é uma das questões abordadas pela pesquisa, visando equilibrar o nível de desafio e as habilidades do jogador para mantê-lo na “zona de *flow*”, conceito relacionado com a característica do jogador de se manter imerso no universo do jogo [Seyderhelm and Blackmore 2021, Dörner et al. 2016]. Entretanto, os estudos sobre DDA frequentemente abstraem as especificidades dos jogos sérios, que precisam ser avaliadas de forma cuidadosa, considerando-se a interpenetração entre a área de interesse e a jogabilidade.

No caso da saúde, a própria existência de dados do paciente pode influenciar nas mecânicas¹ que dependem deles. Isso deve ser considerado pelo mecanismo de DDA para que a dificuldade seja ajustada adequadamente.

Neste sentido, este artigo apresenta uma discussão acerca do uso de dados de saúde provenientes do paciente para a construção de mecanismos de Ajuste Dinâmico de Dificuldade em jogos sérios. É proposta uma abordagem baseada na separação das mecânicas do jogo em dois grupos: aquelas relacionadas à área da saúde e aquelas que não possuem relação alguma. Além disso, tal abordagem envolve a utilização de dados técnicos e padrões reconhecidos internacionalmente como auxiliares nas decisões acerca dos ajustes a serem realizados. É discutida a utilização de um modelo conhecido na área de sistemas auto-adaptativos, o modelo MAPE-K, no intuito de permitir de forma mais modularizada a separação de mecânicas e a possibilidade de escolha de abordagens distintas para cada uma. Este trabalho apresenta, a título de estudo de caso, os esforços para a construção de um mecanismo como este para um jogo que envolve a telerreabilitação de pacientes no contexto de fisioterapia com aparelhos, o “CicloExergame” [Souza et al. 2022]. Neste sentido, será abordado o aspecto de “velocidade de pedalada esperada do paciente”, que envolve dados de saúde e está relacionada com a principal mecânica do jogo.

Este artigo está estruturado em outras quatro seções: A Seção 2 apresenta uma breve discussão acerca dos conceitos de DDA e principais problemáticas relacionadas; A Seção 3 apresenta uma visão geral do modelo MAPE-K e detalha a proposta deste trabalho; a Seção 4, por sua vez, apresenta o estudo de caso e a Seção 5 as considerações finais.

2. DDA em Jogos Digitais

A busca por uma jogabilidade cada vez mais envolvente tem levado ao surgimento de técnicas de adaptatividade em jogos, permitindo personalizar a experiência do jogador automaticamente e de forma dinâmica, ou seja, enquanto o jogador interage com a aplicação. Com o objetivo de promover ou intensificar a retenção de um jogador, surgem conceitos e técnicas relacionados ao melhoramento da jogabilidade, realizando adaptações no jogo de acordo com a experiência que o jogador apresenta no decorrer da atividade [Dörner et al. 2016]. Quando tais adaptações acontecem de forma automática, isto é, sem algum comando por parte do jogador, está-se referindo a adaptatividade em jogos digitais [Streicher and Smeddinck 2016].

Uma questão bastante abordada pelos pesquisadores a respeito da adaptatividade, relaciona-se ao Ajuste Dinâmico de Dificuldade do jogo (DDA - *Dynamic Difficulty Adjustment*) [Streicher and Smeddinck 2016]. Trata-se de realizar dinamicamente um balanceamento das variáveis de dificuldade do jogo com base na análise do desempenho do jogador, para que a atividade não seja demasiadamente fácil ou difícil, evitando-se assim, a frustração e o abandono do jogo [Seyderhelm and Blackmore 2021, Streicher and Smeddinck 2016]. Com o nível de desafio e habilidade equilibrados, o jogador permanece na chamada “zona de *flow*”, isto é, imerso no mundo do jogo, com tendência a seguir a atividade; um jogo adaptativo, portanto, percebe quando o jogador se encontra fora dessa zona, podendo ser pelo fato do desafio e da habilidade do jogador estarem desequilibrados, e toma decisões no sentido de reconduzi-lo para lá [Streicher and Smeddinck 2016].

Existem muitas técnicas para se construir um modelo de DDA. Segundo a proposta de Streicher e Smeddinck [Streicher and Smeddinck 2016], são dois os mecanismos principais

¹O termo “mecânica” refere-se ao conjunto de regras e sistemas que governam a interação entre os jogadores e o jogo, como regras, objetivos, sistemas de pontuação, habilidades do jogador e comportamentos dos personagens [Dörner et al. 2016].

para esta tarefa: um **avaliador de performance**, que monitora as variáveis de desempenho do jogador e percebe quando é necessária uma mudança na dificuldade; e um **mecanismo de ajuste**, que efetiva a mudança nas variáveis de dificuldade.

Entretanto, nota-se que as especificidades inerentes aos jogos sérios frequentemente são abstraídas da pesquisa sobre DDA ou são superficialmente comentadas. Em jogos sérios nos quais o tratamento de saúde e o monitoramento acontecem por meio do jogo, as dimensões de saúde e de jogabilidade se interpenetram e precisam ser avaliadas de forma mais cuidadosa. Considerando-se, por exemplo, a existência de dados de saúde do paciente compondo o conjunto de variáveis de um jogo sério, surge o questionamento acerca das particularidades no tratamento destas informações pelos mecanismos de DDA. Outra questão seria relacionada a existência de mecânicas que dependem destes dados e a necessidade de um tratamento à parte para situações como esta.

3. O Modelo MAPE-K para Ajuste Dinâmico de Dificuldade

Dado que um jogo com adaptatividade é, em um horizonte amplo, um sistema auto-adaptativo, é concebível que modelos e soluções já consolidadas desta área possam contribuir para a pesquisa em jogos. Assim, o modelo MAPE-K, que sintetiza as principais funções de auto-adaptatividade, pode ser aplicado neste contexto para modelar a solução.

A partir da descrição de Weyns [Weyns 2021], tem-se que este modelo, desenvolvido originalmente pela IBM, pressupõe a criação de um sistema à parte, que atua como gerenciador do sistema principal. O primeiro é composto por um ciclo de atividades, cada qual executada por um componente: Monitorar, Analisar, Planejar e Executar (por isso o acrônimo MAPE). Além disso, todos estes mecanismos utilizam uma Base de Conhecimento (do inglês *knowledge*, o “K” do acrônimo). Um esquema ilustrativo do modelo pode ser visto na Figura 1.

Em resumo, o ciclo das funções básicas da auto-adaptatividade é compreendido da seguinte forma, ainda segundo Weyns: o Monitor adquire informações do sistema gerenciado, processando estes dados; o Analisador determina quando é necessário realizar uma mudança/adaptação no sistema a partir dos dados obtidos pelo Monitor. Ademais, este componente é responsável por chamar o Planejador para organizar o que será feito e que, por sua vez, determina quais adaptações serão realizadas para que se parta da configuração atual do sistema e se atinja aquela que é desejada; o Planejador dispara o Executor que, de fato, realiza o que foi planejado. A partir daí, o sistema continua sendo monitorado e o ciclo se repete. Todos os componentes compartilham entre si a Base de Conhecimento, que contém todas as informações necessárias para o funcionamento deste sistema de gerenciamento.

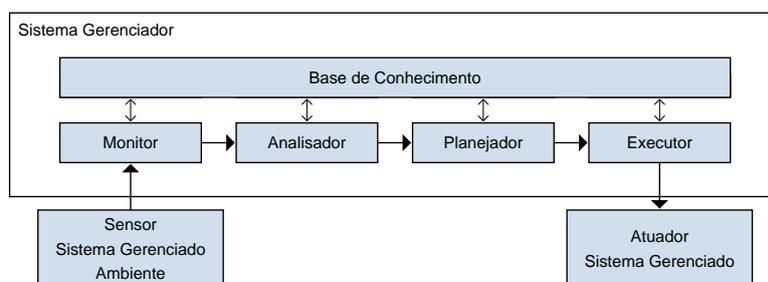


Figura 1. Diagrama ilustrando o modelo MAPE-K (adaptado de [Weyns 2021]).

A abordagem proposta neste artigo consiste em utilizar o modelo MAPE-K para a construção de um mecanismo de DDA para jogos sérios. A partir de sua estrutura modu-

larizada, é possível delinear este mecanismo de modo a criar um ciclo M-A-P-E para cada mecânica do jogo, sendo possível, assim, abordar de forma separada cada uma delas, para que se possam ser determinadas estratégias específicas, que contemplem as especificidades de cada mecânica. Dessa maneira, as mecânicas que contemplam os dados de saúde podem ser tratadas à parte, por meio de abordagens próprias, como por exemplo, a utilização de heurísticas ou algoritmos de aprendizado. Tais estratégias podem ser selecionadas de acordo com as necessidades de cada mecânica.

No que diz respeito à Base de Conhecimento, tem-se que esta é acessada por todos os componentes do ciclo M-A-P-E de todas as mecânicas, isto é, trata-se de uma base compartilhada. Assim, os dados acessados são comuns e podem ser utilizados por todos os mecanismos, ainda que sejam distintas as abordagens em cada um. Esta característica garante uma espécie de “coesão” ao modelo. Além disso, um diferencial necessário para o bom funcionamento do mecanismo de DDA envolvendo dados de saúde, é a incorporação de padrões de análise reconhecidos pela literatura, que devem ser disponibilizados na Base de Conhecimento, com o intuito de garantir um tratamento consistente e adequado para estes dados.

4. Ajuste da Velocidade Esperada no CicloExergame

A título de estudo de caso, será discutida a aplicação da abordagem proposta em um jogo sério desenvolvido para auxiliar a realização de sessões de telerreabilitação (isto é, reabilitação remota – via tecnologias de comunicação) de pacientes que utilizam como aparelho o cicloergômetro²: o CicloExergame³ [Souza 2022, Souza et al. 2022].

Este jogo sério do gênero “corrida infinita” apresenta ao paciente um avatar que deve ser controlado por suas pedaladas em um cicloergômetro e também por um *joystick*. A partir disso, o jogador tem alguns de seus dados vitais, como frequência cardíaca e saturação de oxigênio, capturados por meio de sensores utilizados pela pessoa. Tais dados são enviados para a aplicação (via Arduino UNO) e apresentados na interface do fisioterapeuta. O paciente, por sua vez, deve pedalar em uma frequência correspondente à faixa de velocidade estipulada pela mecânica do jogo, capturando os objetos coletáveis (moedas e bônus) e desviando-se dos obstáculos e dos itens perigosos, dentro do tempo proposto pelo profissional de saúde.

O fisioterapeuta configura previamente a atividade e monitora o desempenho do paciente em tempo real, dispondo de um painel de configurações que permite, inclusive, a alteração de parâmetros durante a atividade, sendo que um gráfico de desempenho é gerado para auxiliar o monitoramento. Um sistema de videochamadas permite a comunicação entre os dois atores. A Figura 2 apresenta as telas do jogo (tela do paciente e tela do fisioterapeuta).

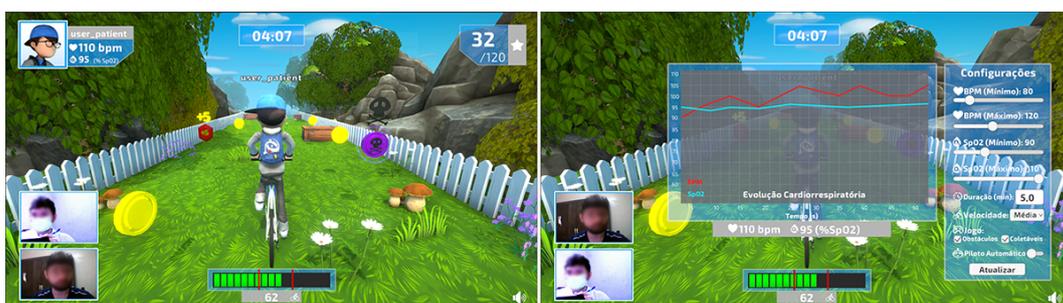


Figura 2. Telas de jogo do CicloExergame: Paciente e Fisioterapeuta.

²Trata-se de uma bicicleta de cabeceira utilizada para sessões de reabilitação de pacientes com disfunções motoras decorrentes de inatividade física (causada por longos períodos de internação, por exemplo).

³Registrado pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial sob o código BR512022001849-7.

A proposta deste estudo de caso foi realizar a concepção de um mecanismo de DDA para a mecânica de “velocidade esperada”, que expressa a velocidade proposta pelo fisioterapeuta para a realização da atividade, que oscila entre “devagar” (velocidade variando de 0, 1 a 0, 4), “média” (entre 0, 4 e 0, 7) e “rápida” (entre 0, 7 e 1, 0)⁴. É, por um lado, uma mecânica que está diretamente relacionada à terapia e, por outro, diretamente relacionada ao jogo em si, sendo decisiva na descrição da dificuldade do jogo. A princípio, quanto maior é a velocidade esperada, mais difícil será o jogo. Entretanto, essa característica é complexa de ser determinada, pois o esforço pode variar de acordo com o paciente, evidenciando novamente a relevância da utilização de um mecanismo como o DDA para calcular o valor apropriado para cada jogador.

No caso específico desta mecânica, dada a sua importância para a própria terapia, o fisioterapeuta precisa manifestar o desejo de que esta adaptação automática aconteça. Para tanto, foi disposto um botão no painel de configurações (denominado “piloto automático”), o qual o profissional de saúde pode habilitar e desabilitar a qualquer momento.

Para a construção deste mecanismo a partir do modelo MAPE-K, foram projetados os componentes como seguem a seguir.

1. Monitor: Caso o fisioterapeuta tenha ativado a função de “piloto automático”, monitora a atividade cardiorrespiratória do paciente. Caso estes dados estejam fora da faixa estipulada pelo profissional ou distantes dos padrões reconhecidos para esta análise⁵, executa o Analisador. Em caso de variações fora da faixa dos padrões de análise utilizados, dispara também um alarme visual e sonoro para o fisioterapeuta.
2. Analisador: A partir dos resultados do Monitor, verifica se a velocidade está muito alta para o paciente (atividade cardiorrespiratória muito acima dos padrões) ou muito baixa (caso contrário). Se está muito alta, chama o Planejador para diminuir a velocidade esperada; caso contrário, chama para aumentá-la.
3. Planejador: Determina, a partir de uma heurística, a nova velocidade esperada. Dado que a velocidade é representada como um valor no intervalo $[0, 1]$, a heurística utilizada foi definida como uma variação de velocidade proporcional (percentualmente) à variação da atividade cardiorrespiratória - 10% de variação da velocidade (aumento ou diminuição) a cada 10% de variação da atividade cardiorrespiratória registrada pelos componentes anteriores. Caso este percentual de variação acumulado represente a transição de um nível de dificuldade (relacionado à velocidade esperada) para outro, chama o executor para, de fato, realizar a troca de nível de dificuldade.
4. Executor: Realiza a troca do nível de dificuldade, a partir do resultado do Planejador. Neste contexto, foi definida a função U da seguinte forma:

$$U_{veloc}(a, v) = \{AUMENTAV(v), a = 1; DIMINUIV(v), a \neq 1\}$$

onde a é uma variável utilizada para se selecionar a função de aumento ou de diminuição da velocidade (a partir dos resultados do Analisador e do Planejador) e v é a nova velocidade.

Nesta proposta, as seguintes informações deverão compor a base de conhecimento:

⁴A velocidade do jogador é uma variável com valor no intervalo $[0,1]$, obtida a partir das pedaladas no cicloergômetro.

⁵A partir de Haskell e também de outras fontes [Fox et al. 1971, American College of Sports Medicine 2021], determina-se que, durante a realização de atividades físicas, a saturação de oxigênio deve estar acima de 90% e a frequência cardíaca em uma faixa que varia de 50% a 85% da frequência cardíaca média do indivíduo, que é dada por $220 - idade$.

- Se o fisioterapeuta ativou a função de “piloto automático”.
- A atividade cardiorrespiratória do paciente e o padrão de valores para analisá-la.
- Resultado do analisador (aumentar ou diminuir a velocidade).
- A heurística utilizada pelo Planejador e a nova velocidade calculada.
- A função U , as funções de aumento e diminuição da velocidade e o valor de a .

A partir disso, possibilita-se a construção um mecanismo de DDA para a mecânica de “velocidade esperada”, aplicando o modelo MAPE-K e conferindo um tratamento adequado aos dados de saúde.

5. Considerações Finais

Este artigo discutiu as especificidades do uso de dados de saúde no contexto das técnicas de Ajuste Dinâmico de Dificuldade em jogos sérios. O uso do modelo MAPE-K, bastante difundido na área de sistemas auto-adaptativos, permitiu uma abordagem modularizada e, por isso, atendeu às demandas do uso das informações do paciente. Foi realizado um estudo de caso, onde foi discutido o processo de desenvolvimento de um mecanismo de DDA para uma das mecânicas do CicloExergame.

O CicloExergame passou por etapas prévias de avaliação envolvendo 16 profissionais de saúde (Método Delphi – 88,8% de avaliação positiva) e também 12 voluntários (Experiência de Jogador – 75% de avaliação “muito satisfatória” e 25% “satisfatória”) [Souza 2022, Souza et al. 2022]. Entretanto, são previstas ainda algumas etapas de avaliação com pacientes em um ambiente real de terapia, com o intuito de validar, a partir de testes de Experiência de Jogador, a implementação das técnicas de DDA discutidas.

Este projeto está buscando contribuir com a discussão acerca das técnicas de DDA em jogos sérios. Sua continuidade significa, certamente, aprofundar a discussão e concretizá-la mais a cada passo, com dados e resultados que lancem luzes à proposta aqui apresentada.

Referências

- American College of Sports Medicine (2021). *ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Wolters Kluwer, 11 edition.
- Dörner, R., Göbel, S., Effelsberg, W., and Wiemeyer, J., editors (2016). *Serious Games: Foundations, Concepts and Practice*. Springer International Publishing.
- Fox, S. M., Naughton, J. P., and Haskell, W. L. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res*, 3(6):404–432.
- Seyderhelm, A. J. A. and Blackmore, K. (2021). Systematic review of dynamic difficulty adaption for serious games. *SSRN Electronic Journal*.
- Silva, A. d. S. d., Valenciano, P. J., and Fujisawa, D. S. (2017). Atividade lúdica na fisioterapia em pediatria: Revisão de literatura. *RBEE*, 23:623 – 636.
- Souza, C. H. R. (2022). Exergame distribuído com cicloergômetro para a reabilitação de pacientes e geração de engajamento em contextos de telerreabilitação. Master’s thesis, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, D. M., do Nascimento, D. F., Berretta, L. d. O., and de Carvalho, S. T. (2022). A serious games and game elements based approach for patient telerehabilitation contexts. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):179–191.
- Streicher, A. and Smeddinck, J. D. (2016). Personalized and adaptive serious games. In *Entertainment Computing and Serious Games*, pages 332–377. Springer.
- Weyns, D. (2021). *An Introduction to Self-Adaptive Systems*. John Wiley & Sons Ltd.