

# Modelagem e Simulação do Progresso Estudantil no Ensino Superior com Sistemas de Eventos Discretos para Gerenciamento de Capacidade de Turmas Extras

José Diogo A. de Sousa<sup>1</sup>, Juliana F. dos Santos<sup>1</sup>,  
Gabriel Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PPGIA)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

{diogosousa36, julifs.13}@gmail.com,

gabriel.alves@ufrpe.br

**Abstract.** *The demand for extra classes in higher education courses can be caused by several factors, among the main ones is the high retention rate in the initial periods. This need tends to generate extra costs for universities, which already have a limited budget. This work implemented a simulation model of student progress to analyze the impact caused by the inclusion of extra places in subjects with a high retention rate in the initial periods of an undergraduate course. The model was built using the OMNET++ simulator, in which data from an information technology course were used for the simulation. The results showed that the inclusion of 30 extra places in the 3 initial periods was able to eliminate the waiting list, which reached an average of 210 students, without impacting the dropout rates of the course.*

**Resumo.** *A demanda por turmas extras em cursos de ensino superior pode ser ocasionada por diversos fatores, dentre os principais está o alto índice de retenção nos períodos iniciais. Essa necessidade tende a gerar custos extras para as universidades, que já possuem um orçamento limitado. Este trabalho implementou um modelo de simulação do progresso estudantil para analisar o impacto causado pela inclusão de vagas extras em disciplinas com índice de retenção elevado nos períodos iniciais de um curso de graduação. O modelo foi construído utilizando o simulador OMNET++, no qual foram utilizados dados de um curso de tecnologia da informação para a simulação. Os resultados apontaram que a inclusão de 30 vagas extras nos 3 períodos iniciais foi capaz de eliminar a fila de espera, que chegou a alcançar uma média 210 estudantes, sem impactar nos índices de evasão do curso.*

## 1. Introdução

O acesso e democratização ao ensino superior é um tema pautado constantemente por instituições e governo, programas como SISU, PROUNI e FIES têm proporcionado um grande avanço no quesito acessibilidade por determinados grupos sociais. Entretanto, facilitar o ingresso à universidade por meio de políticas de inclusão ou de diferentes processos seletivos não garante a permanência do estudante na universidade [Davok and Bernard 2016].

Estudos encontrados na literatura [Moura and Passos 2019, Lima et al. 2019] apontam que a taxa de conclusão nos cursos de ensino superior ainda é muito baixa. Diversos fatores podem impactar na proporção de alunos graduados em universidades públicas e privadas. A evasão, por exemplo, é um evento de grande influência na taxa de conclusão das universidades públicas e privadas.

São inúmeras as causas que podem levar um aluno a se desligar do curso, que vão desde o nível do ensino médio cursado, problemas de tempo, dificuldade financeira, falta de identificação com o curso e até problemas pessoais. De acordo com o Censo da Educação Superior [INEP/MEC 2019], em média, 59% dos estudantes do ensino superior abandonaram os seus cursos de graduação entre 2017 e 2019, um percentual bastante elevado e que vem aumentando ao longo dos anos.

Segundo [Souza et al. 2019], as causas econômicas e sociais refletem a existência de problemas além do alcance das instituições e independem das decisões dos gestores educacionais, porém, as causas consideradas internas podem/devem ser geridas. Estudos nesse campo são essenciais para uma melhor percepção acerca do problema [de Castro et al. 2018].

De acordo com [Silva et al. 2019], um ponto que merece destaque é o gerenciamento de recursos pelas universidades, enfatizando a importância devido ao orçamento limitado que elas possuem, sendo boa parte dessa verba constituída pelo orçamento disponibilizado pelo Tesouro, além de uma parte obtida de arrecadações internas. Ainda de acordo com o autor, esse gerenciamento propicia aos gestores informações que serão transformadas em conhecimento para, ao fim, ser utilizado para tomada de decisões destas instituições.

Nesse âmbito, [Martins et al. 2019] cita o planejamento de demanda por turmas extras, que geralmente ocorrem para as disciplinas que possuem um alto índice de reprovação e não existem vagas suficientes, não possibilitando que os alunos nessa situação consigam cursá-la. Essa demanda gera custos para as universidades, podendo também elevar a carga horária do corpo docente por falta de profissionais para suprir essa necessidade [Brognoli et al. 2020].

Nesse contexto, este trabalho apresenta um modelo de simulação de progresso do aluno no decorrer de um curso de graduação, abordando o impacto causado pela inclusão de vagas extras em disciplinas de maior índice de retenção nos períodos iniciais e analisando os efeitos desse cenário na evasão estudantil, na perspectiva de encontrar fatores que possam contribuir para uma melhor visão acerca do gerenciamento de capacidade de turmas, sem implicações na taxa de evasão e propor alternativas capazes de impactar positivamente na gestão de recursos em universidades.

Os modelos de fluxo estudantil ao longo do sistema educacional podem ser muito importantes para planejar recursos de infraestrutura, proporcionar a distribuição de recursos humanos no mercado de trabalho e identificar problemas em todo o sistema educacional, bem como propor ações específicas para superá-los [Cavique et al. 2020].

A avaliação do modelo ocorreu por meio de dois estudos de caso, nos quais foram feitas inclusões de vagas extras nos primeiros períodos de um curso de tecnologia da informação. Os resultados apontaram um grande gargalo nos períodos iniciais do curso, quando não era feita a inclusão de vagas extras. Por outro lado, constatou-se que a in-

clusão de 30 vagas extras nos 3 primeiros períodos foi o cenário que apresentou melhor resultado quanto à redução na fila de espera e no impacto sobre a evasão.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados e uma análise comparativa com o trabalho proposto. A Seção 3 detalha a metodologia e as seguidas etapas para implementação do estudo. Na Seção 4 são discutidos os resultados e as análises realizadas após a simulação do modelo. Por fim, a Seção 5 com as conclusões, contribuições e proposta para trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

Na área de estudo de simulação de eventos, foram encontrados trabalhos nos anais do WPerformance abordando escalonamento de processos [Néry et al. 2018], epidemias em redes [Tavares et al. 2018], gestão de tráfego [Teixeira et al. 2018] e paralelização de processos [Gehlen and Moreano 2020]. Modelos de fluxo estudantil foram encontrados em estudos, tanto no ensino superior, como na educação básica, tendo em sua maioria a utilização de cadeias de Markov como forma de abordagem.

O estudo de [Hlavatý and Dömeová 2014] criou um modelo de progresso do aluno em uma disciplina específica de um curso de graduação, usando abordagens de cadeias de Markov. Para isso, o trabalho foi dividido em dois estágios, no primeiro, a modelagem foi realizada a partir das tentativas de aprovação do aluno na disciplina, já no segundo estágio, criou-se um modelo de progresso do aluno dentro de uma avaliação, dividindo-a entre parte escrita e parte oral, dando retornos ao aluno da situação em que ele se encontrava no momento. Os resultados do primeiro estágio apontaram que apenas uma tentativa já era suficiente para mostrar a capacidade do aluno de ser aprovado na disciplina, pois poucos alunos que falharam na primeira tentativa foram bem sucedidos nas seguintes. Já no segundo estágio, percebeu-se que o feedback dado ao aluno no decorrer do processo de avaliação aumentou consideravelmente a sua probabilidade de aprovação na disciplina.

A pesquisa de [González-Campos et al. 2020] propôs um modelo de estimativa de risco de evasão individual, utilizando cadeias de Markov, com base na aleatoriedade da ocorrência do fenômeno de evasão. A pesquisa foi aplicada com 5700 estudantes de 8 universidades. Os resultados demonstraram uma maior probabilidade de evasão nos primeiros 2 semestres do curso, com um percentual médio superior a 39%.

O trabalho de [Caicedo et al. 2016] modelou o comportamento do aluno em uma cadeia de Markov de tempo discreto. A pesquisa teve como finalidade estimar a probabilidade de desistência em curso de engenharia. Foram utilizados cerca de 8 mil registros acadêmicos no intervalo entre 2007 e 2011, com informações sobre o código do aluno, o período, a disciplina e as notas obtidas. O modelo foi composto pelos estados aprovado, evadido e a quantidade de tentativas de cursar uma disciplina. Os resultados demonstraram que na disciplina de cálculo diferencial é o momento em que ocorre uma maior possibilidade de evasão, com a probabilidade de 16% de evasão na primeira tentativa de cursá-la.

O trabalho de [Cavique et al. 2020] modelou o comportamento de alunos entre o 1º e 12º ano de estudo em uma cadeia de Markov, a fim de prever o desempenho dos alunos nos anos seguintes. Para isso, utilizou-se uma base de dados de 1.700.000 alunos por ano letivo, entre os anos de 2008 a 2016. A partir disso, foram simulados 4 cenários,

nos quais reduziu-se a quantidade de ingressos em 5% incrementalmente. Os resultados apontaram que em todos os cenários, o número de alunos ativos seria inferior a um milhão nos anos seguintes.

Baseado nos estudos citados acima, foi proposto um modelo de simulação que permitisse representar o comportamento de turmas em um curso de graduação. O modelo proposto neste trabalho se diferencia dos demais por trabalhar com outras variáveis, como fila de espera, tamanho e capacidade da turma, além de obter indicadores de evasão, proporcionando uma análise do impacto causado por uma inclusão ou remoção de turmas extras em determinados períodos do curso.

### 3. Metodologia

O método utilizado neste estudo foi adaptado do trabalho de [Cavique et al. 2020], no qual dividiu-se o processo em 3 etapas: pré-processamento de dados, modelagem e análise dos resultados.

Na primeira etapa os dados são processados e uma matriz de probabilidades é gerada, a qual será utilizada como parâmetro de entrada para o modelo. Na segunda etapa é realizada a formalização do modelo com base nos dados pré-processados. Enquanto que, a terceira etapa apresenta-se os experimentos que serão realizados e suas respectivas análises.

#### 3.1. Pré-processamento de Dados

Neste trabalho, foi utilizada uma base de dados de uma universidade pública, da qual utilizou-se registros de alunos de um curso de graduação na área de Tecnologia da Informação, com grade curricular formada por 9 períodos e 40 ingressantes por semestre. Dessa base, foram extraídos 5798 registros de alunos que ingressaram entre os semestres de 2009.1 e 2013.2, na qual foram selecionados os seguintes campos: matrícula, semestre letivo, período letivo, duração de vínculo, quantidade de aprovações e reprovações por semestre e status do aluno no curso (evadido, graduado ou vinculado).

Considerando que o propósito do estudo seja voltado para gerenciamento de turmas extras, levou-se em consideração apenas a disciplina de maior retenção em cada período. Dessa forma, a partir dos dados gerou-se a matriz de probabilidades dos eventos de evasão, conclusão e reprovação por duração de vínculo, as quais são necessárias, posteriormente, para a execução do modelo. Dada uma quantidade de alunos, para cada semestre letivo, obtemos o número de evasões, reprovações, conclusões e quantidade de alunos vinculados em cada semestre e geramos a matriz de probabilidades através a equação:

$$P(E) = \frac{n(E)}{n(\Omega)}$$

Onde  $P$  refere-se a probabilidade da ocorrência de um evento (evasão, reprovação ou conclusão),  $E$  representa o conjunto de alunos que fazem parte do evento e  $\Omega$  corresponde ao conjunto total de alunos vinculados. Dessa forma, o agrupamento dos eventos de evasão, reprovação e conclusão dos alunos por duração de vínculo nos permite calcular a probabilidade de ocorrência de cada evento a partir da quantidade de semestres em que o aluno está vinculado no curso.

### 3.2. Modelagem

Utilizou-se o simulador OMNET++ para implementação do modelo proposto neste trabalho, ele possui uma estrutura de simulação C++ extensível, modular e baseada em componentes, é fortemente utilizado em simulações de redes de comunicação, mas também tem tido êxito em outras áreas, como simulação de sistemas de TI, redes de filas, arquiteturas de hardware e processos de negócios.

O OMNET++ foi desenvolvido com o intuito de proporcionar um simulador de eventos para a comunidade acadêmica e até mesmo para instituições comerciais, em busca de ocupar um espaço existente entre simuladores de código aberto para a área acadêmica [Tessinari 2009]. Dentre as suas vantagens, estão o seu código *open source*, facilidade de operação e extensibilidade, pois também oferece compatibilidade com diversas bibliotecas [Jiang et al. 2018].

A estrutura do modelo é composta por cinco componentes, os quais são formados por variáveis responsáveis por armazenar os eventos ocorridos no decorrer da simulação. A seguir, são apresentados os componentes, assim como suas variáveis e atribuições:

- **Aluno** - armazena as características do status em que o aluno se encontra no decorrer da simulação, sendo estas: período de entrada no curso, duração de vínculo e número de reprovações;
- **Ingresso** - são configuradas as turmas que entram a cada semestre no curso, assim como a capacidade de alunos e o número de ciclos de execução do modelo;
- **Período** - é responsável por receber os alunos, avaliá-los e armazenar informações de fila de espera, turma, aprovados, reprovados e evadidos;
- **Conclusão** - armazena os dados dos alunos que obtêm êxito na transição entre todos os períodos do curso;
- **Curso** - módulo responsável por realizar a conexão entre todos os demais componentes.

No simulador OMNET++ é apresentado um esboço do modelo no momento da simulação, conforme a Figura 1, é possível observar as etapas que representam o ingresso do aluno, os períodos percorridos no decorrer da simulação e a conclusão.

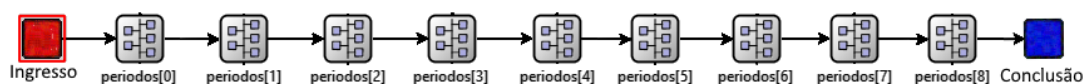
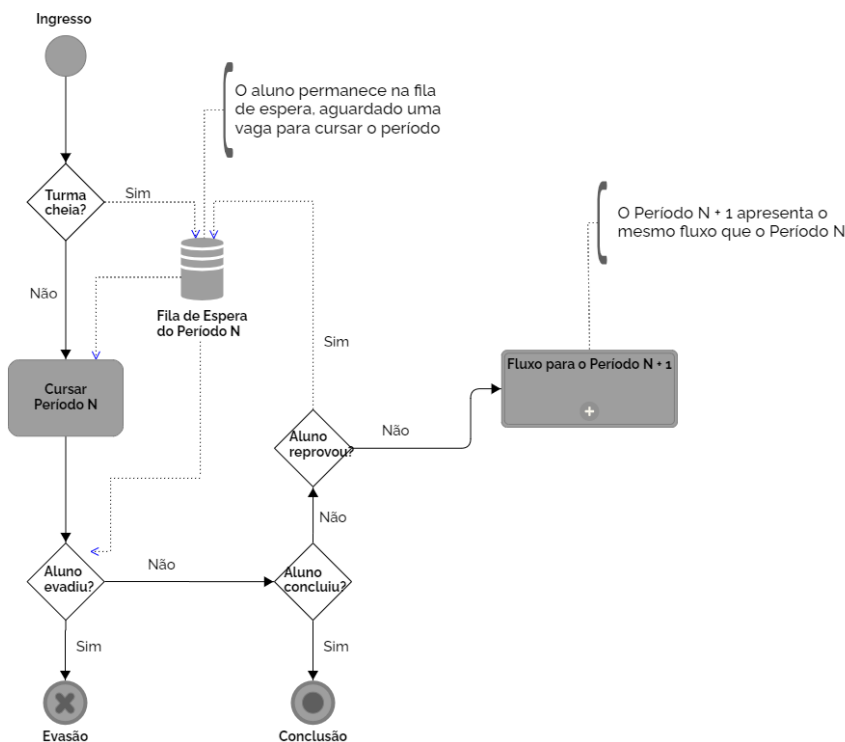


Figura 1. Esboço do modelo gerado pelo simulador OMNET++

O fluxo que o aluno realiza em cada período é determinado pela matriz de probabilidades inserida como parâmetro de entrada no modelo, a Figura 2 apresenta, de forma geral, esse fluxo no decorrer da simulação. A partir do momento do ingresso do aluno, o modelo verifica se existe capacidade na turma para que o mesmo seja inserido, caso exista, o aluno começa a cursar o período, do contrário, integra-se o aluno a fila de espera para aguardar uma oportunidade de ingressar no semestre seguinte. No intervalo de tempo

em que o aluno fica na fila de espera, ele também será avaliado quanto a possibilidade de evasão do curso.



**Figura 2. Diagrama do modelo de simulação**

No instante em que o aluno que ingressa na turma, o modelo irá determinar se ele irá evadir, concluir, reprovar ou aprovar. O estado evasão encerra o vínculo do aluno no modelo, o estado conclusão indica que o aluno conseguiu concluir o curso, o estado reprovado mantém o aluno retido no período atual e o status aprovado direciona o aluno para o período seguinte. Na ilustração da Figura 2, o período N + 1 esboça a sequência do fluxo do aluno no modelo, com o mesmo comportamento do Período N.

Como já citado anteriormente, o modelo nos permite capturar eventos de evasão, tamanho de turma e fila de espera em cada período do curso. Entretanto, é importante salientar que não são levadas em consideração todas as disciplinas de cada período, as probabilidades utilizadas no modelo foram extraídas com base na disciplina de maior retenção em cada período do curso.

Essa simplificação do modelo, focando apenas na disciplina de maior retenção em cada período, foi necessária para enfatizar o problema base desta pesquisa, que busca otimizar a distribuição de vagas com o intuito de reduzir as filas de espera ocasionadas por estas disciplinas onde a demanda por vagas é bastante elevada, principalmente nos períodos iniciais.

Ao fim da execução do modelo, o simulador OMNET++ nos permite exportar os dados coletados dos eventos para o formato CSV, além de também proporcionar algumas visualizações gráficas.

### 3.3. Análise dos Resultados

Inicialmente, o modelo foi executado como 40 ingressantes por semestre e sem nenhuma restrição quanto a capacidade de alunos na turma, isso permitiu obter uma estimativa do tamanho da turma em cada período. O gráfico da Figura 3 a seguir apresenta o tamanho médio da turma em cada período, obtido a partir desse experimento sem restrições de capacidade.

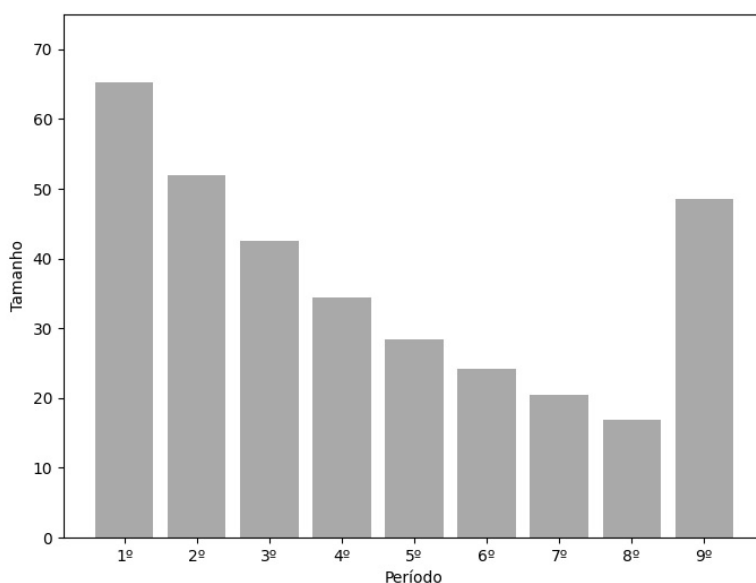


Figura 3. Tamanho médio da turma para o modelo sem restrições de capacidade

Analisando o gráfico acima, percebe-se um tamanho elevado da turma no 9º período do curso. Ao fazer uma pesquisa nos registros da base, notou-se que essa situação geralmente ocorre com alunos que estão aptos a concluir o curso e encontram-se matriculados no projeto de conclusão, sendo que nesta disciplina não existem restrições quanto a capacidade de alunos e por se tratar de um trabalho de conclusão de curso, exige mais tempo para ser finalizada.

A matriz de probabilidades gerada a partir da base de dados, para os eventos de evasão, reprovação e conclusão, é apresentada no gráfico da Figura 4 a seguir. Nota-se um elevado percentual de reprovação em todos semestres, com média de 40,22%, um fator determinante para a alta demanda por determinadas disciplinas no curso.

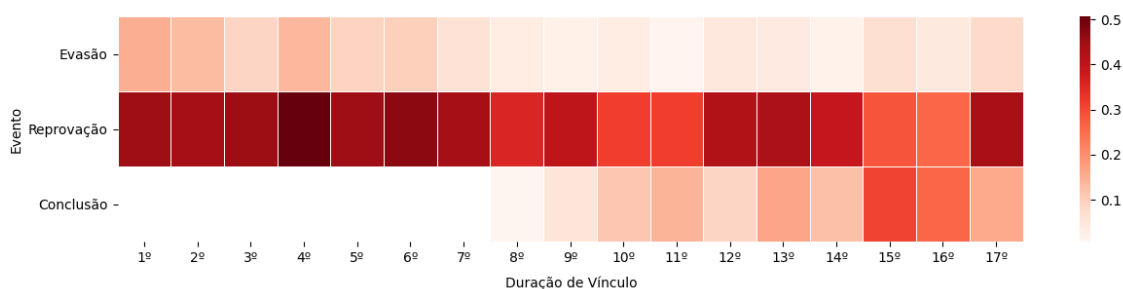


Figura 4. Mapa de calor da matriz de probabilidades de eventos

Fazendo uma análise conjunta entre os dois gráficos acima, percebe-se que, apesar de manter um alto índice de reprovação no decorrer dos semestres, o volume de alunos diminui bastante após o 4º período do curso, apresentando uma média abaixo de 30 alunos por turma. Dessa forma, considerando o foco da pesquisa no gerenciamento da capacidade de turmas extras, foram definidos dois estudos de caso. No primeiro, o modelo foi projetado com a inclusão incremental de 30 vagas extras nos 4 primeiros períodos do curso, originando 4 cenários, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Estudo de Caso I**

Cenário	Capacidade da Turma			
	1º período	2º período	3º período	4º período
A	70	40	40	40
B	70	70	40	40
C	70	70	70	40
D	70	70	70	70

Já no segundo estudo de caso, foram feitas inclusões nos 3 primeiros períodos do curso, adicionando incrementalmente 5 vagas extras no intervalo entre 65 e 80, no qual foram gerados os cenários apresentados na Tabela 2. É importante destacar que nas situações onde a capacidade da turma é igual a 40, não foram realizadas alterações, elas representam apenas o tamanho normal ofertado pelo curso.

**Tabela 2. Estudo de Caso II**

Cenário	Capacidade da Turma			
	1º período	2º período	3º período	4º período
E	65	65	65	40
F	70	70	70	40
G	75	75	75	40
H	80	80	80	40

Ao fim da simulação dos estudos de caso, os resultados da fila de espera gerada foram analisados por meio de tabelas. Enquanto que, no impacto dos experimentos em relação a evasão, utilizou-se a análise de sobrevivência para fazer um comparativo entre os cenários elaborados e o cenário base apresentado acima, permitindo a avaliação dos níveis de evasão no decorrer dos períodos.

#### 4. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir dos dois estudos de caso definidos anteriormente. No primeiro estudo de caso, foram analisadas as variações nos índices de evasão e na fila de espera gerada. Na Tabela 3 a seguir, são apresentados esses resultados obtidos nos quatro cenários.

Já no cenário A, percebe-se um número elevado de alunos na fila de espera do 2º período, com uma média acima de 210. Isso ocorreu em razão da inclusão de 30

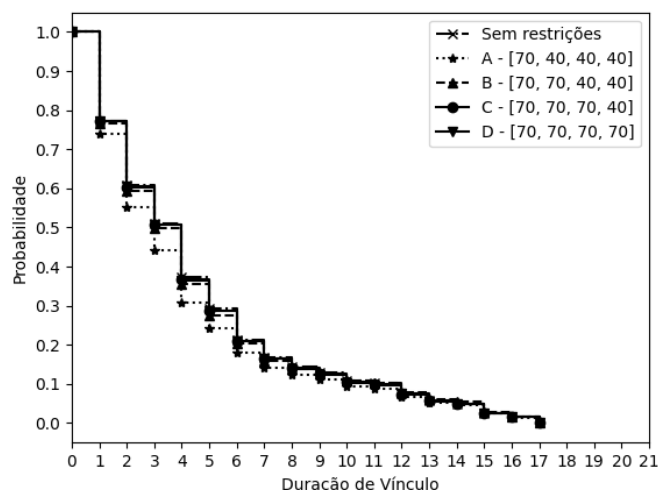


vagas extras apenas no 1º período, causando uma maior demanda no período seguinte. No cenário B, a inclusão de vagas extras no segundo período conseguiu suprir a demanda gerada pelo aumento do tamanho da turma no 1º período, no entanto o 3º período ainda apresentou uma fila de espera média de 41,48 alunos. Nos cenários C e D, a fila de espera apresentou redução em todos os períodos, tendo as médias mais altas no 4º período, com 0,94 alunos e 1º período com 0,49 alunos.

**Tabela 3. Fila de Espera Média por Período - Estudo de Caso I**

Cenário	Período								
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
A	0,44	210,33	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B	0,67	0,00	41,48	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,52	0,01	0,00	0,94	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
D	0,49	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00

O gráfico da Figura 5 apresenta o resultado da análise de sobrevivência da evasão do estudo de caso I, nele também foi adicionado o cenário base para efeitos de comparação. No cenário A, observa-se um aumento da evasão nos períodos iniciais, nos qual foi feita uma inclusão de vagas extras apenas no primeiro período. O cenário B apresentou uma variação mais sutil em relação ao cenário base, reflexo esse causado pela redução da fila de espera gerada no primeiro e segundo período. Os cenários C e D apresentaram uma aproximação do cenário base em relação a evasão, ocasionada pela diminuição na média da fila de espera em todos os períodos do curso.



**Figura 5. Análise de sobrevivência da evasão no estudo de caso I**

No estudo de caso II, os cenários foram definidos com alterações apenas nos 3 primeiros períodos do curso. A Tabela 4 apresenta as médias da fila de espera em cada período, observa-se que o cenário E foi o único que apresentou um valor elevado na fila de espera, com média de 12,31 no 1º período. Nos cenários F, G e H as variações da fila de espera tendem a se estabilizar, apresentando médias próximas a zero. Nesse sentido,

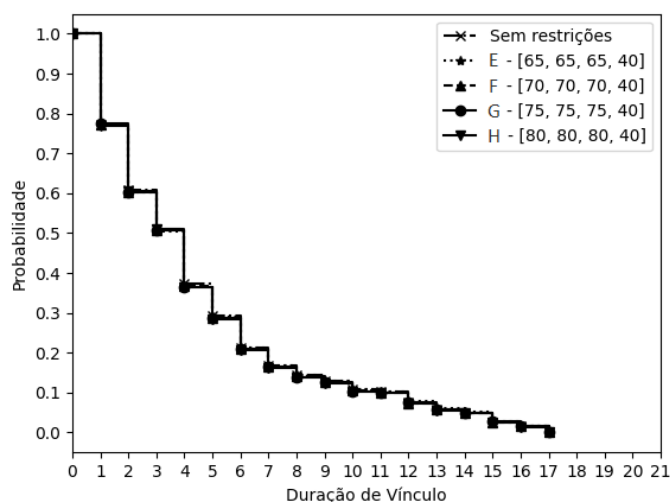
sugere-se que partir do cenário F, no qual foram incluídas 30 vagas extras nos 3 períodos iniciais, o aumento de vagas não influencia no tamanho da fila de espera.

**Tabela 4. Fila de Espera Média por Período - Estudo de Caso II**

Cenário	Período								
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
E	12,31	0,04	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,49	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
G	0,00	0,00	0,00	0,87	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,99	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Por último, é apresentado o gráfico da análise de sobrevivência da evasão no estudo de caso II, conforme demonstrado na Figura 6. No gráfico é possível constatar que os índices de evasão, para os cenários definidos, não sofreram variações significantes em relação ao cenário base. A similaridade entre os resultados dos cenários torna, inclusive, difícil a leitura do gráfico.

Contudo, essa igualdade reforça que a partir da inclusão de 25 vagas extras nos 3 períodos iniciais, o comportamento nos índices de evasão tende a se estabilizar no comparativo ao cenário base utilizado. Por outro lado, quando também é levado em consideração a fila de espera gerada no estudo, o cenário F demonstrou-se como o mais eficaz, conseguindo reduzir a fila de espera e aproximar a evasão do cenário base.



**Figura 6. Análise de sobrevivência da evasão no estudo de caso II**

Tendo em vista os resultados apresentados, percebe-se que a inclusão de turmas extras resultou uma grande diminuição na fila de espera, conforme apresentado nos cenários das Tabelas 3 e 4. Também, foi possível constatar no estudo de caso II, que o cenário F foi o que apresentou o melhor resultado, levando em consideração a quantidade de vagas extras disponibilizadas e a redução no tamanho médio de estudantes na fila de espera, sem causar impacto nas taxas de evasão.

## 5. Conclusão

Este trabalho implementou um modelo de simulação de progresso estudantil no decorrer de um curso de graduação, abordando o impacto causado pela inclusão de vagas extras em disciplinas de maior retenção dos períodos iniciais e analisando os efeitos desse cenário na evasão estudantil.

Os resultados apontaram que a inclusão de vagas extras nos períodos iniciais do curso pode evitar grandes filas de espera de uma forma otimizada. Ainda, de acordo com os cenários elaborados, foi possível perceber que a inserção de 30 vagas extras nos 3 períodos iniciais foi o cenário em que o modelo obteve o melhor comportamento, eliminando a fila de espera, que chegou a alcançar uma média de 210 estudantes, sem causar impacto na evasão do curso.

Os indicadores apresentados neste trabalho podem contribuir para que gestores de universidades consigam otimizar o seu planejamento, no que diz respeito a distribuição de recursos/vagas extras, abordando diferentes cenários e os impactos causados por eles na fila de espera e índices de evasão.

Para trabalhos futuros, pretende-se fazer a inclusão de cursos que envolvam outras áreas de conhecimento. Também, planeja-se acrescentar indicadores de retenção e conclusão nas análises, visto que o modelo já consegue capturar estes eventos, mas não foi realizado nenhum tipo de investigação neste trabalho.

## Referências

- Brognoli, E., Pagnan, J. M., and Longen, W. C. (2020). Saúde mental dos trabalhadores da educação. *Brazilian Journal of Health Review*, 3(5):11521–11530.
- Caicedo, R. O., Atuesta, S. B., and Caicedo, J. P. (2016). Análisis de la retención de estudiantes de ingeniería basado en la pérdida consecutiva de una misma asignatura. un enfoque de cadenas de markov. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5(16):7–18.
- Cavique, L., Pombinho, P., Tallón-Ballesteros, A. J., and Correia, L. (2020). Data pre-processing and data generation in the student flow case study. In *International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, pages 35–43. Springer.
- Davok, D. F. and Bernard, R. P. (2016). Avaliação dos índices de evasão nos cursos de graduação da universidade do estado de santa catarina-udesc. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)*, 21:503–522.
- de Castro, P. A., Souza, T. S., and Sá, S. (2018). Evasão no ensino superior: mapeamento de cursos licenciaturas da universidade federal de goiás. *Revista EDaPECI*, 18(3):45–60.
- Gehlen, T. and Moreano, N. (2020). Paralelização e otimização da simulação discreta de eventos em processador multicore. In *Anais do XIX Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*, pages 25–36. SBC.
- González-Campos, J. A., Carvajal-Muquillaza, C. M., and Aspeé-Chacón, J. E. (2020). Modelación de la deserción universitaria mediante cadenas de markov. *Uniciencia*, 34(1):129–146.

- Hlavatý, R. and Dömeová, L. (2014). Students' progress throughout examination process as a markov chain. *International Education Studies*, 7(12):20–29.
- INEP/MEC (2019). Censo da educação superior de 2019.
- Jiang, J., Li, Y., Hong, S. H., Xu, A., and Wang, K. (2018). A time-sensitive networking (tsn) simulation model based on omnet++. In *2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, pages 643–648. IEEE.
- Lima, P., Bisinoto, C., Melo, N. S. d., and Rabelo, M. (2019). Taxas longitudinais de retenção e evasão: uma metodologia para estudo da trajetória dos estudantes na educação superior. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 27:157–178.
- Martins, A. L. F. et al. (2019). Gestão de riscos em processos administrativos em coordenações de curso de graduação: estudo de caso na universidade federal de santa maria. In *Repositório Digital da UFSM*. Universidade Federal de Santa Maria.
- Moura, M. Á. P. and Passos, G. d. O. (2019). A taxa de conclusão de curso da graduação nas universidades federais antes e depois do reuni: as vicissitudes da implementação da política. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)*, 24:513–525.
- Néry, J. T. C., Barreto, F. M., and de Freitas, J. C. J. (2018). Construção de um modelo de simulação para escalonamento de processos não-preemptivos. In *Anais do XVII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*. SBC.
- Silva, E. R. S., Gonçalves, V. M., da Cruz, D. B., and da Cunha Reis, B. M. (2019). Gestão dos custos universitários: uma abordagem do custeio baseado em atividades-abc. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.
- Souza, T. S., Sá, S., and de Castro, P. A. (2019). Evasão escolar no ensino superior: um estudo qualitativo via mapeamento de licenciaturas. *Revista Lusófona de Educação*, 44(44).
- Tavares, J. V. B., Iacobelli, G., and Figueiredo, D. R. (2018). Simulação escalável de epidemias em redes baseadas em passeios aleatórios. In *Anais do XVII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*. SBC.
- Teixeira, E., Manuel, M., and Costa, R. (2018). Uso de simulador de geração de tráfego para a melhoria de desempenho de sistemas legados críticos. In *Anais do XVII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*. SBC.
- Tessinari, R. S. (2009). *Mapeamento de Equipamentos Ópticos e Modelagem de Redes OTN no Simulador OMNeT++ de acordo com a Recomendação ITU-T G. 798*. Rodrigo Stange Tessinari.