



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE BOLSAS ESTUDANTIS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR PRIVADAS

Alessandro Dias Borges

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGE) - Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Gustavo Valentin Loch

Administração - UFPR

Aline Frazon

Engenharia de Produção – UFPR

Nicolle Christine Sotsek

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGE) - Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Resumo: Entre as inúmeras estratégias e abordagens para maximizar a receita com o recrutamento de alunos, fornecer ajuda financeira é um mecanismo poderoso para que as instituições de ensino superior (IES) atinjam suas metas de admissão de alunos e receita. No caso das IES brasileiras, o papel social foi estimulado por meio da lei PROUNI, com o objetivo de reduzir a desigualdade social e promover o acesso ao ensino superior no país. O atual estudo tem como objetivo propor um modelo matemático para maximizar a receita de uma IES com mensalidades simultaneamente com a alocação de bolsas de acordo com os requisitos legais do PROUNI. Primeiramente, são analisados os dados históricos de evasão escolar, uma vez que interfere no número total de alunos. Em seguida, os dados de evasão são ajustados à distribuição triangular, para determinar a oscilação semestral do número de alunos em cada curso. A terceira etapa é resolver um problema de programação linear inteira mista por meio da execução de simulações de computador considerando a taxa de evasão escolar. Os resultados indicaram que a distribuição triangular pode ser usada para realizar simulações confiáveis de evasão e o modelo matemático é rápido de resolver. Dessa forma, determinou-se um intervalo de confiança para estimativas de arrecadação de mensalidades, número de bolsas e operacionalização das atribuições de bolsas por curso e período. Os resultados obtidos também podem ser utilizados como benchmark para subsidiar a ofertas de bolsas e estratégia de marketing.

Palavras-chave: Otimização. Evasão escolar. ProUNI. Bolsas de Estudo. Programação Linear. Simulação.

THE PROBLEM OF ALLOCATION OF STUDENT SCHOLARSHIPS IN PRIVATE HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Abstract: Among the numerous strategies and approaches to maximize revenue from student recruitment, providing financial aid is a powerful mechanism for higher education institutions (HEIs) to achieve their student admission and revenue goals. In the case of Brazilian HEIs, the social role was stimulated through the PROUNI law, with the aim of reducing social inequality and promoting access to higher education in the country. The current study aims to propose a mathematical model

to maximize the revenue of a HEI with tuition fees simultaneously with the allocation of scholarships in accordance with the legal requirements of PROUNI. First, historical data on school dropout are analyzed, since it affects the total number of students. Then, the dropout data are adjusted to the triangular distribution, to determine the semiannual oscillation of the number of students in each course. The third step is to solve a mixed integer linear programming problem by running computer simulations considering the school dropout rate. The results indicated that the triangular distribution can be used to perform reliable dropout simulations and the mathematical model is fast to solve. In this way, a confidence interval was determined for estimates of tuition fee collection, number of scholarships and operationalization of scholarship allocations by course and period. The results obtained can also be used as a benchmark to support scholarship offers and marketing strategy.

Keywords: Optimization. Dropout rate. ProUNI. Scholarships. Linear Programming. Simulation.

1. Introdução

O gerenciamento orçamentário é uma tarefa inerente em qualquer organização para controle de suas finanças, não sendo diferente para as Instituições de Ensino Superior (IES). Dentre os fatores que influenciam diretamente a receita total a ser obtida por uma universidade em um semestre, destacam-se o número de alunos matriculados por curso e a mensalidade de cada curso. Determinar o número efetivo de alunos depende de considerar os processos relacionadas à admissão e retenção de alunos, sendo uma das principais tarefas administrativas de qualquer IES. Segundo Auluck, Nambi e West (2019), a gestão orçamentária é uma tarefa complexa, pois implica em avaliar diversas variáveis como a composição do corpo docente, infraestrutura física das instituições, bem como gestão o número de alunos e finanças em geral. Como a principal fonte de renda de uma universidade privada advém das mensalidades pagas pelos estudantes, precisão na estimativa do número de alunos é fundamental (TRUSHEIM e RYLEE, 2011).

Dentre as inúmeras estratégias e abordagens possíveis para a captação de alunos, prover de alguma maneira auxílio financeiro, seja por financiamento ou bolsas estudantis, aumenta a probabilidade de um aluno se matricular e/ou permanecer na IES (YE, ZHAN, et al., 2016) (HOSSLER, 2000). Embora disponibilizar ajuda financeira continue sendo um mecanismo poderoso para as IES atingirem suas metas de admissão estudantil e faturamento, a previsão equivocada e a administração ineficiente dos recursos disponíveis podem comprometer todo o planejamento orçamentário. Ao mesmo tempo que prover algum tipo de auxílio financeiro aumenta a captação de alunos, isto implica na perda de receita. A determinação precisa do número de estudantes requer dados sobre admissões, conclusões e evasão estudantil - sendo esse último uma variável com alta flutuação, tornando difícil sua mensuração. Apesar de geralmente as instituições terem esses dados históricos armazenados em seus ERPs (Enterprise Resource Planning), as IES muitas vezes não são ágeis o suficiente em aproveitá-los para a tomada de decisão otimizada (BIENKOWSKI, FENG e MEANS, 2012) (WEST, 2012).

Estratégias de alocação de bolsas conjuntamente com gestão orçamentária são áreas de pesquisa ainda pouco explorada devido a competição entre universidades assim como a natureza dos dados. Desta forma, a utilização de métodos matemáticos, como os da pesquisa operacional, pode ajudar na missão crítica da gestão orçamentária e na atribuição de ajuda financeira a estudantes sem expor os dados dos discentes. No caso das IES brasileiras, o papel social foi estimulado por meio da lei do ProUNI (Programa Universidade para Todos), visando diminuir a desigualdade social e promover o acesso ao ensino superior no Brasil (BRASIL, 2005). Em vista da promulgação da lei, as instituições de ensino que aderirem ao programa têm benefícios fiscais e, como contrapartida, necessitam oferecer gratuitamente uma parte das vagas em suas instituições para alunos em situações de fragilidade socioeconômica. Enquanto uma IES necessita de recursos financeiros para sustentar suas atividades, precisa ao mesmo tempo atender exigências legais e promover o acesso ao ensino superior. Dado esta necessidade, são necessários mais estudos focados na eficiência e performance das instituições. Assim, analisar conjuntamente à

gestão orçamentária e a designação de bolsas por meio de técnicas de pesquisa operacional pode trazer grandes vantagens a IES. Estudos análogos realizados no exterior analisaram maximização de receita por meio da alocação ótima de bolsas e gerenciamento de matrículas (AULUCK, NAMBI e WEST, 2019) (WANG, 2017) (RACHMAWATI, 2017). Este estudo difere dos anteriormente citados pois este considera a projeção de evasão e as restrições impostas pela legislação brasileira (ProUNI).

Esse estudo tem como objetivo propor um modelo matemático para maximizar a receita de uma IES advinda das mensalidades e simultaneamente otimizar a alocação de bolsas de estudo do PROUNI. Neste trabalho considerou-se a flutuação do número de alunos decorrente da evasão escolar, a qual impacta o total de alunos matriculados, número de bolsas a serem designadas e, conseqüentemente, a receita total a ser obtida pela universidade. Ressalta-se aqui a importância de se considerar as taxas de evasão escolar na gestão de matrículas e alocação de bolsas, uma vez que afetam diretamente o número de alunos e, conseqüentemente, a receita da IES.

2. Referencial teórico

O PROUNI - Programa Universidade para Todos - fez parte da Reforma Universitária que ocorreu entre 2003 a 2006. Embora o PROUNI seja uma política pública de acesso à universidade, o que por si já é de grande importância, o programa não prevê medidas que visem a permanência do aluno na IES. Catani, Hey e Gilioli (2006) também chamam atenção para a importância de estudar as taxas de evasão de alunos bolsistas (visando aumentar a permanência), bem como uma otimização da oferta de bolsas por curso. Segundo Marins (2021), evasão é a saída do estudante antes de concluir o curso, ou seja, deixa de estar matriculado e sua saída não é devido a diplomação.

Dentre os problemas normalmente encontrados em IES, o uso da pesquisa operacional é geralmente utilizado na resolução de problemas em quatro grandes áreas de atuação: (i) Alocação de recursos; (ii) avaliação de desempenho; (iii) planejamento estratégico e (iv) problemas de sequenciamento/designação (HO, HIGSON e DEY 2007). A alocação de recursos e gestão orçamentária de IES são tarefas complexas. O processo de tomada de decisão de alocação de recursos requer a busca pelo equilíbrio entre múltiplos objetivos, como por exemplo, a maximização da receita da IES e a alocação de bolsas estudantis, os quais são muitas vezes conflitantes entre si (MCCLATCHEY, 1998). Segundo Loch (2010), no caso em que os modelos utilizados para representar o sistema são representados por números e variáveis, estes modelos podem ser resolvidos de forma analítica ou simulação. Quando não é possível modelar o sistema por equações, a simulação surge como opção. Um modelo de simulação refere-se aos algoritmos de computação, expressões matemáticas e equações que encapsulam o comportamento e o desempenho de um sistema em cenários do mundo real (ABAR, THEODOROPOULOS, et al., 2017). A execução de diversas simulações para prever um determinado comportamento permite mensurar as consequências de um determinado cenário sobre o sistema. Uma das grandes vantagens da simulação é a possibilidade de considerar as aleatoriedades dos processos no modelo, o que traz como desvantagem a necessidade do projetista saber tratar a aleatoriedade dos dados de entrada e a sua presença nos resultados. Portanto, faz-se necessário o uso de ferramentas estatísticas para definir cenários e para analisar os seus resultados. Segundo Freitas Filho (2008), o ajuste de distribuições de probabilidade pode ser dividido em três etapas: escolha da distribuição a ser testada, estimação dos parâmetros e testes de aderência.

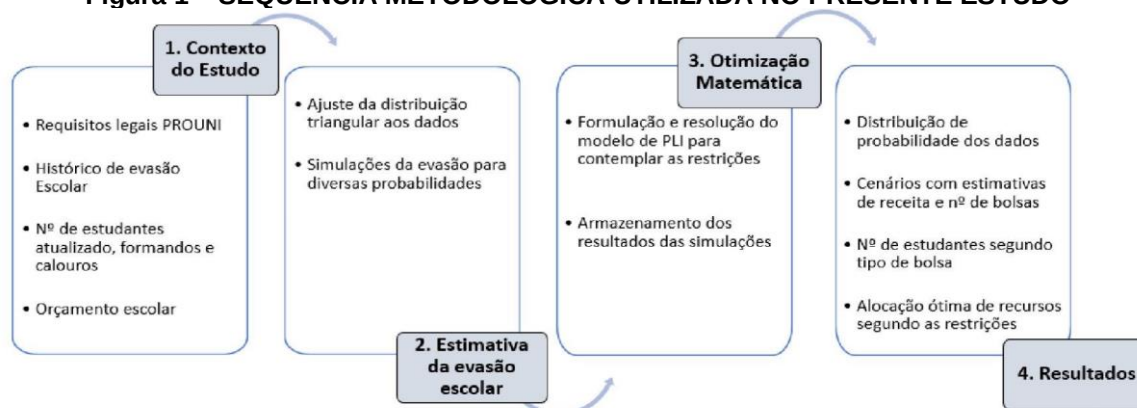
Existem diversas funções de distribuições de probabilidade para variáveis aleatórias discretas e contínuas. Entre as que se ajustam a dados discretos estão a bernoulli, binomial, binomial negativa, hipergeométrica, geométrica e Poisson (CARGNELUTTI FILHO et al., 2004). Além das distribuições normal, uniforme, log-normal, gama, valores extremos ou gumbel, weibull, exponencial, beta, qui-quadrado, t de Student, F de Snedecor. A grande quantidade de distribuições existentes mostra a importância de se realizar não apenas uma

análise quantitativa dos dados, mas de também ser necessária uma análise qualitativa, a qual dependerá da experiência e do conhecimento de quem está desenvolvendo o modelo. Para comparar os resultados obtidos provenientes das amostras e verificar se o parâmetro estimado está contido no intervalo de aceitação da hipótese nula, é necessário que sejam realizadas replicações. O número de replicações necessárias é definido com base na confiança desejada, e para isto é necessário o conceito de intervalo de confiança. A ideia da criação do intervalo de confiança é estabelecer um intervalo no qual o valor da média se encontrará, com um determinado percentual de confiança. Ao realizarmos um determinado número de replicações, n , é possível que o intervalo de confiança acabe sendo maior que o desejado. A análise de intervalos de confiança é necessária para modelos nos quais pelo menos uma das variáveis seja estocástica (Loch, 2010).

3. Metodologia

As etapas deste estudo são descritas na Figura 1. Primeiramente descreve-se o contexto do estudo, seguida pela obtenção e tratamento dos dados. Após esta etapa, apresenta-se a previsão da evasão escolar, seguida da modelagem matemática do problema de otimização de designação de bolsas. Por fim, a construção de diversos cenários por meio de eventos de simulação computacional discretos.

Figura 1 – SEQUÊNCIA METODOLÓGICA UTILIZADA NO PRESENTE ESTUDO



Fonte: autores

Para determinar o número efetivo de estudantes, evasão e receita esperada, este estudo utilizou os seguintes dados: i) Dados acadêmicos históricos de ingresso, conclusão e nº de alunos por curso e período dos últimos 10 anos; ii) Expectativa de ingresso de alunos para o próximo semestre letivo; iii) Número de discentes que atualmente estão matriculados em cada curso e período na IES; iv) Número de alunos formandos no período letivo atual; v) Preço da Mensalidade média de cada curso. Devido à dificuldade de extração e consistência dos dados anteriores a 2010, optou-se por utilizar somente os dados disponíveis dos últimos 10 anos para determinação da evasão. Os dados históricos são obtidos diretamente do ERP da IES. Com base nestes dados, a IES é capaz de estimar a taxa de evasão, o número efetivo de estudantes e a receita mensal a ser obtida com as mensalidades dos estudantes. Em seguida, realizou-se a projeção de matrículas para calouros e veteranos, estimativa de evasão para 2021 e receita a ser obtida por curso. Estas informações então foram inseridas em um modelo matemático para que a designação de bolsas ocorresse de modo a maximizar a receita, observando as restrições legais descritas anteriormente. A seguir, são apresentados e discutidos os resultados do estudo.

4. Resultados

Primeiramente é feita uma análise dos dados de evasão disponíveis, seguido pelos resultados comparativos entre as simulações feitas em cada cenário.

4.1 Fórmulas estatísticas

No estudo foi utilizado a distribuição de probabilidade triangular. Esta distribuição é útil nos casos em que existem poucas amostras, sendo utilizada neste trabalho para estimar a taxa de evasão escolar a ser utilizada nas simulações. A distribuição triangular é uma distribuição contínua definida por três parâmetros: o mínimo (a), o máximo (c) e o valor mais provável (b), onde $a < c$ e $a < b < c$. Sua função de distribuição de probabilidade é dada pela seguinte fórmula:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x < b \\ \frac{2}{c-a}, & x = b \\ \frac{2(c-x)}{(c-b)(c-a)}, & b < x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

A função de distribuição de probabilidade acumulada da distribuição triangular é:

$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{(c-x)^2}{(c-b)(c-a)}, & b < x \leq c \end{cases} \quad (2)$$

A respectiva função inversa é:

$$F^{-1}(p) = \begin{cases} a + \sqrt{(b-a)(c-a)p}, & 0 \leq p \leq \frac{b-a}{c-a} \\ c - \sqrt{(c-a)(c-b)(1-p)}, & 1 \geq p \geq \frac{b-a}{c-a} \end{cases} \quad (3)$$

A determinação e prova matemática do estimador adequado para a distribuição triangular pode ser vista em Loch (2010). Neste trabalho apenas usamos a distribuição e seu estimador para simulações das taxas de evasão. O estimador do parâmetro de moda da distribuição triangular possui a seguinte fórmula:

$$\hat{c} = 3\bar{x} - (x_{\min} - x_{\max}) \quad (4)$$

Uma vez que a distribuição de probabilidade foi escolhida e seus parâmetros determinados, é necessária alguma maneira de verificar se os dados observados seguem a distribuição com os parâmetros estimados. Desta forma, faz-se necessário o uso de testes de aderência para verificar se uma amostra representa as características da população. Um teste de aderência é um teste de hipótese utilizado para avaliar formalmente se as observações realizadas são de uma amostra independente de uma função distribuição F (LAW e KELTON, 2000). Testes de aderência, como o qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, Cramer-von Mises (MORETTIN e BUSSAB, 2004), servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição, verificando se os valores da amostra podem ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica.

4.2 Receita e evasão escolar

Considerando que não há inadimplência, a receita total pode ser obtida pela multiplicação do n° de alunos efetivos de cada curso, pela sua respectiva mensalidade (Equação 5).

$$R = \sum_c N_{ef}^c * M^c \quad (5)$$

Sendo R a receita total esperada, N_{ef}^c o número efetivo de alunos do curso c e M^c a mensalidade do curso c . Uma vez que a mensalidade é fixa, o número efetivo de estudantes que irão cursar o próximo semestre letivo pode ser calculado através da equação (6).

$$N_{ef} = N_0 - N_{f0} - N_{e0} + N_i \quad (6)$$

Sendo N_{ef} o número efetivo de estudantes que cursarão o próximo período letivo, N_0 a população total de estudantes atualmente matriculados, N_{f0} o número que irão se formar no período letivo atual w , N_{e0} o número de alunos que evadem em cada curso no período letivo atual, e N_i o número de alunos ingressantes no próximo período letivo.

A evasão escolar foi determinada após análise dos dados acadêmicos históricos de 10 anos, onde verificou-se, a cada semestre, quantos alunos permaneciam matriculados, concluíam o curso ou evadiam. A evasão escolar é um fenômeno de difícil mensuração e previsão, ainda mais no contexto deste estudo. Como a IES não dispõe atualmente de dados mais detalhados para o ajuste através de algum método de regressão ou outro modelo, optou-se por utilizar uma distribuição de probabilidade para verificar o padrão de comportamento dos dados. A evasão de cada período então é determinada considerando um fator de correção, descrito segundo a equação (7).

$$FC = (1 - \alpha)^{i-1} \quad (7)$$

Sendo FC o fator de correção para a ju ste da evasão para cada período i de cada curso, α a taxa de evasão esperada para o respectivo curso e i o período i do resp ectivo curso. Para analisar a evasão, foi utilizado dados de 79 cursos de graduação presencial de uma mesma IES no modelo de otimização matemática e nas réplicas das simulações computacionais. Para os cursos selecionados, verificou-se que a média de evasão semestral era de 9%, com amplitude de 13%, conforme Figura 2 abaixo.

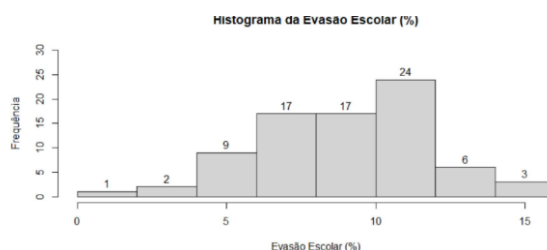
Figura 2 – ESTATÍSTICAS BÁSICAS DE EVASÃO SEMESTRAL

Item	Máx	Média	Min
Evasão (%)	14%	9%	1%

Fonte: autores

A variação nas taxas de evasão sugere que existe um comportamento distinto entre cursos. Desta forma, inicialmente foi realizado um teste de normalidade para verificar se a evasão semestral poderia ser descrita segundo a distribuição de probabilidade normal, a evasão de todos os cursos apresentou comportamento normal, a um nível de probabilidade de 95%. Para o conjunto de cursos utilizados neste estudo, agrupou-se os dados de evasão semestral segundo um histograma de frequências. Ao analisar a média da evasão semestral, pode-se observar que a classe que concentrou mais cursos representa a evasão semestral na faixa entre 10% e 12%, conforme representado na Figura 3.

Figura 3 – HISTOGRAMA DE FREQUENCIA DA EVASÃO ESCOLAR SEMESTRAL NOS CURSOS



Fonte: autores

As colunas representam o número de cursos cuja taxa de evasão escolar se situa em cada uma das classes de evasão. Pelo histograma é possível observar que os cursos apresentam comportamento distinto e a taxa de evasão deve ser considerada de modo individualizado. Além dos cursos apresentarem média distinta, deve-se analisar a amplitude da variação da evasão semestral. Cursos que apresentam grande variação podem implicar em alterações significativas do número efetivo de alunos e na receita da IES após a análise dos resultados de cada simulação executada. O impacto desta flutuação é apresentado na Figura 4, onde podemos ver para alguns cursos selecionados, a o máximo, mínimo média e a proporção entre o número de alunos efetivos em cada curso antes e após a aplicação da taxa de evasão. O comportamento distinto entre cursos é significativo. Nos cursos de medicina, a evasão flutua entre 1 e 2. Por outro lado, em engenharia de produção noturno podemos ter uma flutuação de quase 40% em um semestre letivo.

Figura 4 – INFLUÊNCIA DA TAXA DE EVASÃO NO NÚMERO EFETIVO DE ESTUDANTES

Nome	Total Alunos Antes Evasão	Máx alunos após evasão	Média Alunos Após Evasão	Min Alunos Após Evasão	% Médio de Alunos após evasão em relação ao número inicial
Direito	1316	1197	1126	1096	86%
Administração	545	541	500	482	92%
Medicina	1103	1103	1092	1090	99%
Psicologia	460	437	412	403	90%
Ciências Contábeis	258	236	219	208	85%
Arquitetura e Urbanismo	1062	1029	976	956	92%
Engenharia de Produção	587	403	375	357	64%
Engenharia Civil	712	590	549	529	77%

Fonte: autores

Dado que os dados disponíveis para a previsão da evasão neste estudo são limitados, podemos apenas quantificar o efeito da aleatoriedade da evasão.

4.3 Modelagem matemática

Após a determinação do número efetivo de estudantes para cada curso e cada período, estes são utilizados em um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM). O problema de alocação de bolsas, apresenta a seguinte modelagem:

Conjuntos e índices:

- J : Conjunto de cursos existentes na universidade, indexado em j ;
- I_j : Conjunto de períodos i em cada curso j , indexado em i ;
- K : Conjunto de tipos de bolsas, indexado em k . Neste caso existem 3 modalidades de bolsas sendo $k = 1$, Bolsa integral; $k = 2$, Bolsas Parcial; e $k = 3$, sem bolsa;

Parâmetros:

- C : Total de estudantes da universidade;
- W : Total de alunos estudantes bolsistas integrais;
- L : Total de estudantes pagantes, ou seja, todos menos os alunos bolsistas integrais;
- M_{ij} : Número efetivo de estudantes matriculados em cada curso j , no período i , levando em consideração a taxa de evasão escolar;
- R_{ijk} : Receita média obtida com mensalidades em cada curso j no período i e segundo bolsa do tipo k ;

Variáveis de Decisão:

- Y_{ijk} : Número de bolsas designadas para o período i , curso j , do tipo k ;

O modelo matemático empregado neste estudo é apresentado nas expressões (8)-(13):

$$\text{Max } Z = \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} Y_{ijk} R_{ijk} \quad (8)$$

$$Y_{i1j} \geq 0,10C_{ij} \quad \text{para } \forall j \in J, i \in I_j \quad (9)$$

$$\sum_{k=1} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} (R_{ikj} Y_{ikj}) + 0,8 \sum_{k=2} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} (R_{ikj} Y_{ikj}) - 0,2 \sum_{k=3} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} (R_{ikj} Y_{ikj}) \geq 0 \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I_j} Y_{ijk} \leq C_{ij} \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$\sum_{k=1} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} (R_{ikj} Y_{ikj}) + \sum_{k=2} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} (R_{ikj} Y_{ikj}) \leq 0,2 * C_{ij} \quad \forall j \quad (12)$$

$$Y_{ijk} \in Z^+ \quad \forall k \in K \forall j \in J, i \in I_j \quad (13)$$

O objetivo do modelo (8) é a maximização da receita bruta mensal da IES. A restrição (9) garante que em cada curso e período, ao menos 10% dos alunos são bolsistas integrais. A restrição (10) estabelece que o total de alunos bolsistas na universidade deve perfazer pelo menos 20% do total de estudantes pagantes da universidade. O conjunto de restrições (11) implica que o total de alunos com cada tipo de bolsa em cada período em cada curso deve ser inferior ao total de alunos matriculados em cada período de cada curso. O conjunto de restrições (12) garante que em nenhum curso e período, o total de alunos bolsistas seja

superior a 20% do total de alunos para o respectivo curso e período. Por fim, (13) é a condição de não negatividade e que define as variáveis como sendo inteiras.

4.4 Simulação

Devido ao componente probabilístico da evasão escolar, técnicas de simulação computacional foram utilizadas para a construção de cenários e determinação de um intervalo de confiança para as estimativas. Conforme metodologia descrita na estimativa da evasão escolar, cada replicação possui uma taxa de evasão única por curso ou por curso e período. Esta taxa então é utilizada para computar o número efetivo de estudantes do próximo semestre letivo, o qual é a variável de entrada fundamental para o modelo. Neste estudo foram definidos 3 cenários a serem comparados. No 1º cenário, o modelo matemático é resolvido sem considerar qualquer taxa de evasão, sendo necessário resolvê-lo apenas uma vez, pois a resposta será sempre igual. No 2º cenário, a taxa de evasão estimada em cada simulação é constante para o curso, sem considerar os períodos. No 3º cenário a taxa de evasão estimada foi corrigida para ser considerada por curso e período, de maneira que seu decréscimo ocorra de forma exponencial.

4.5 Análise de normalidade

Segundo o teorema do limite central, se a amostra é grande o suficiente, a amostragem tende a se comportar segundo a distribuição normal. Contudo, realizamos testes de normalidade nos dados para verificar se esse comportamento ocorria de fato. A importância desta verificação consiste no fato de que dados normais podem ser analisados segundo testes paramétricos e terem facilmente seus respectivos intervalos de confiança. Com o resultado ótimo obtido através do modelo matemático para cada simulações em cada cenário realizado, utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk a um nível de probabilidade de 95%. As estatísticas podem ser vistas na Figura 5.

Figura 5 – ANÁLISE DE NORMALIDADE PARA AS VARIÁVEIS-RESPOSTA MONITORADAS EM CADA CENÁRIO

Variável	Cenario 3		Cenario 2	
	W calc	p -valor	W calc	p -valor
Receita	0,970	0,534	0,980	0,825
Valor Bolsas	0,989	0,977	0,975	0,665
N alunos bolsa 100%	0,975	0,674	0,980	0,819
N alunos bolsa 50%	0,915	0,020	0,977	0,764
N Alunos sem bolsa	0,978	0,775	0,977	0,724

Fonte: autores

De todas as variáveis analisadas, a única que não apresentou distribuição normal foi o número de alunos com bolsa 50%, e apenas no cenário 3. Para que a evasão possa ser mais bem representada em uma formulação matemática, seriam necessários testar outras técnicas condicionadas a dados mais detalhados.

4.6 Análise comparativa entre cenários

Na Figura 6, comparamos os cenários segundo os resultados obtidos por meio da resolução do modelo matemático. Conforme esperado, o cenário 1, sem evasão, apresentou a maior receita média mensal. Por outro lado, o cenário 2, o qual considera uma taxa de evasão constante ao longo do curso.

Figura 6 – RESULTADOS DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE ESTIMADAS EM CADA CENÁRIO

Cenário	Receita Bruta Mensal (Média)	Valor Concedido em Bolsas (Média)	Nº Alunos com Bolsa 100% (Média)	Nº Alunos com Bolsa 50% (Média)	Nº Alunos sem bolsa (Média)	Total Alunos (Média)
1	R\$ 46.229.694,22	R\$ 6.936.202,13	2.216	1.776	18.183	22.175
2	R\$ 43.601.990,80	R\$ 6.532.043,66	2.065	1.652	16.934	20.651
3	R\$ 44.260.808,36	R\$ 6.633.411,19	2.102	1.685	17.251	21.038

Fonte: autores

O cenário 3 apresenta um resultado intermediário entre o 1 e o 2. Neste cenário ocorre uma redução de cerca de 2 milhões em relação ao cenário 1, mas cerca de 600 mil reais a mais por mês em relação ao cenário 2. Ao considerar a evasão com um decréscimo exponencial gradual, a IES tende também a ser mais assertiva na alocação de bolsas e estimativas de receita. O valor de 600 mil por mês representa cerca de 1,4% de sua receita média mensal, mas em valores absolutos, ao longo de um ano podemos ter variações de milhões de reais a mais na receita esperada. Outro aspecto relevante de adotar uma premissa mais realista da evasão, é que a expectativa de alunos e consequentemente do número de bolsas necessárias, se torna mais precisa. Como a previsão orçamentária ocorre antes do fim do semestre, compreender a evasão é essencial para a correta determinação do nº efetivo de estudantes e nº de bolsistas do próximo período letivo. Desta forma, apresentamos em detalhe os resultados obtidos no cenário 3, o qual julgamos ser o mais realista. O resumo dos resultados obtidos pode ser verificado na Figura 7.

Figura 7 – RESUMO DOS RESULTADOS DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE OBTIDOS NO CENÁRIO 3 APÓS ANÁLISE DE NORMALIDADE

Estadísticas	Nº Alunos Sem Bolsa	Nº Alunos com Bolsa 50%	Nº Alunos com bolsa 100%	Valor Bolsas Mensal	Receita Bruta Mensal
Média	17.250	1.685	2.102	R\$ 6.633.254,42	R\$ 44.257.869,18
Desvio Padrão	15	3	3	R\$ 6.481,48	R\$ 40.701,60
Erro Padrão	3	1	1	R\$ 1.203,58	R\$ 7.558,10
ICLimSuperior	17.256	1.686	2.103	R\$ 6.635.716,02	R\$ 44.273.327,23
IC Lim Inferior	17.244	1.684	2.101	R\$ 6.630.605,36	R\$ 44.242.411,14

Fonte: autores

Os resultados do modelo de otimização indicam que os resultados são sensíveis a alterações conforme a premissa de evasão é considerada. No entanto, dentro de um mesmo cenário, mesmo com a flutuação na taxa de evasão, a receita total a ser obtida e a redistribuição das bolsas de estudo entre os cursos não se altera muito. Assim, se a evasão for representada corretamente, a previsibilidade de receita se torna de fácil obtenção, auxiliando a gestão orçamentária da IES. O modelo matemático garante uma estratégia ótima de alocação de bolsas do ponto de vista financeiro, ao mesmo tempo em que mantém as exigências legais do ProUNI. Como modelo utiliza a evasão determinada individualmente para cada período e cada curso, acreditamos este cenário reflete com mais fidedignidade o resultado esperado pela IES, salvo outros fatores não considerados neste estudo. Quanto à alocação de bolsas entre cursos, o modelo matemático obedeceu às restrições que exigiam ao menos 10% de bolsistas integrais em cada curso. Porém para as bolsas parciais, os cursos de maior receita média não obtiveram nenhuma bolsa designada, como pode ser visto na Figura 8. Os resultados da alocação de bolsas por curso apresentam a receita média de forma relativa para não exibir o valor exato da mensalidade de cada curso.

Figura 8 – RESULTADO DA OTIMIZAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE BOLSAS SEGUNDO OS 15 CURSOS COM MAIOR RECEITA MÉDIA OFERECIDOS PELA IES

Curso	Receita Média	Média do Total de Alunos	Média de Nº Alunos Sem Bolsa	Média de Nº Alunos c/ Bolsa 100%	Média de Nº Alunos c/ Bolsa 50%
A	100%	1093	984	109	0
B	60%	43	39	4	0
C	56%	144	130	14	0
D	49%	491	442	49	0
E	48%	581	523	58	0
F	33%	77	69	8	0
G	32%	65	59	6	0
H	32%	76	68	8	0
I	31%	561	505	56	0
J	30%	231	208	23	0
K	29%	983	869	98	16
L	29%	283	227	28	28
M	28%	350	280	35	35
N	28%	352	282	35	35
O	27%	108	87	11	11

Fonte: autores

Assim, os dados de receita média com mensalidade foram normalizados, de forma que todos fiquem dentro do intervalo [0, 1]. Conforme esperado, o modelo matemático

maximizou a receita da universidade ao alocar as bolsas segundo os critérios legais estipulados, priorizando as bolsas parciais para os cursos de menor receita média. A Figura 8 retrata o resultado obtido das simulações para n° de alunos e bolsas alocadas nos 15 cursos com maior receita média. Caso não fosse inserido uma restrição que limitasse o percentual de bolsistas em cada curso, as bolsas parciais se concentrariam em poucos cursos, tornando todos os alunos de um determinado curso bolsistas parciais ou integrais. O número de estudantes com bolsa de 50% não aumenta progressivamente da menor receita média para a maior receita média devido ao total de alunos matriculados em cada curso, à flutuação do n° de estudantes da universidade e por curso. Este resultado indica a correta modelagem e resultado obtidos, uma vez que os 10 cursos com maior receita média não obtiveram nenhum bolsista parcial em nenhuma das simulações. Embora alunos bolsistas tenham menor probabilidade de evadir, as necessidades de oferta de bolsas podem variar caso a taxa de evasão se altere substancialmente em decorrência desta oferta de bolsas. Este ponto requer atenção dos gestores na definição da estratégia de oferta de bolsas e estratégias para captação e retenção de alunos. Além disso, a definição do orçamento envolve inúmeras outras variáveis, e nestes processos gerenciais, nem sempre o ótimo econômico prevalece.

5. Considerações finais

O estudo de caso propõe um modelo eficiente para a distribuição de auxílio financeiro a estudantes, visando otimizar a receita das IES, considerando o desafio da evasão. A simulação surge como alternativa para estimar intervalos de confiança para receita, número de estudantes e bolsas necessárias, tornando o modelo mais fiel à realidade. A inserção de critérios de mérito acadêmico e características socioeconômicas também agregaria complexidade e precisão. Compreender a evasão é crucial, pois a alocação adequada de bolsas pode aumentar a retenção, evitando desperdício de recursos. A proposta representa um avanço na gestão orçamentária de IES privadas, com simulações rápidas e confiáveis mesmo em contextos de dados escassos. Investimentos em sistemas de armazenamento e modelagem mais eficientes melhorariam as decisões orçamentárias e operacionais.

Referências

- ABAR, S. et al. Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, v. 24, p. 13-33, March 2017. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2017.03.001>.
- AULUCK, L.; NAMBI, D.; WEST, J. Using Machine Learning and Genetic Algorithms to Optimize Scholarship Allocation for Student Yield. Association for Computing Machinery, Anchorage (AK), p. 1-9, August 2019.
- BIENKOWSKI, M.; FENG, M.; MEANS, B. Enhancing Teaching and Learning Through Educational Data Mining and Learning Analytics: An Issue Brief. Washington, DC.: U.S. Department of Education, Office of Educational Technology, 2012.
- BRASIL. LEI N° 11.096, DE 13 DE JANEIRO DE 2005. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, Janeiro 2005.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. D. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1157-1166, December 2004. ISSN <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001200001>.
- CATANI, A. M.; HEY, A. P.; GILIOLI, R. D. S. P. PROUNI: democratização do acesso às Instituições de Ensino Superior? *Educar em Revista*, Curitiba, n. 28, p. 125-140, 2006.
- FREITAS FILHO, P. J. D. Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. 2a. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

HO, W.; HIGSON, H. E.; DEY, P. K. An integrated multiple criteria decision making approach for resource allocation in higher education. *International Journal of Innovation and Learning*, v. 4, n. 5, p. 471-486, April 2007. ISSN <https://doi.org/10.1504/IJIL.2007.012958>.

HOSSLER, D. The role of financial aid in enrollment management. *New directions for student services*, v. 89, n. 6, p. 77-90, December 2002. ISSN <https://doi.org/10.1002/ss.8906> LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation Modeling Analysis*. New York: McGraw-Hill, v. 3, 2000.

LOCH, G. V. MENSURAÇÃO E PREVISÃO DO CUSTO DA FALHA INTERNA VIA MODELO DE SIMULAÇÃO. Universidade Federal do Paraná, Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Setor de Tecnologias e Ciências Exatas (dissertação de mestrado), Curitiba, p. 1-143, Fevereiro 2010.

MARINS, F. D. S. S. D. Fatores que influenciam na escolha, permanência e na evasão do curso de Fonoaudiologia. Dissertação de Mestrado, Departamento de Pós Graduação em Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 138, Fevereiro 2021.

MCCLATCHEY, C. A. A Multi-Criteria Model For Optimizing University Tuition Structures. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, v. 14, n. 2, p. 117-128, April 1998. ISSN <https://doi.org/10.19030/jabr.v14i2.5720>.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. *Estatística Básica*. 5a. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

RACHMAWATI, S. R. SCHOLARSHIP-STUDENT MATCHING PROCESS OPTIMIZATION. University of Oklahoma, GALLOGLY COLLEGE OF ENGINEERING (degree of master of science thesis), Norman, Oklahoma, p. 1-78, 2017.

TRUSHEIM, D.; RYLEE, C. Predictive Modeling: Linking Enrollment and Budgeting. *Planning for Higher Education*, v. 40, n. 1, p. 12-21, Oct-Dec 2011.

WANG, S. Data Mining Techniques and Mathematical Models for the. Wright State University - doctorade dissertation, Dayton (Ohio), p. 113, December 2017. ISSN https://corescholar.libraries.wright.edu/etd_all/1896.

WEST, D. M. Big data for education: Data mining, data analytics, and web dashboards. *Governance studies at Brookings, Washington, D.C.*, v. 4, n. 1, p. 1-10, September 2012.

YE, H. et al. College Student Scholarships and Subsidies Granting: A Multi-modal Multi-label Approach. 2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining (ICDM), Barcelona, Spain, p. 559-568, December 2016. ISSN doi: 10.1109/ICDM.2016.0067.