

Insurance Asset Liability Management: uma aplicação de Algoritmos Genéticos à estruturação de estratégia de investimentos para o setor de seguros

JOSÉ, P.¹

¹Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional - PPG-PO. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP (e-mail: paulo.jose@ga.ita.br)

ABSTRACT O presente artigo apresenta um dos principais desafios enfrentados no mundo de seguros no que tange à gestão de ativos e passivos, otimizar o retorno financeiro proveniente dos investimentos realizados respeitando as restrições que garantem a liquidez da companhia perante suas obrigações, sejam elas regulatórias ou operacionais. As características específicas deste setor, como, por exemplo, a incerteza sobre a saída de fluxo de caixa torna o desafio ainda maior, pois exigem técnicas robustas para que tal gestão seja realizada da maneira mais assertiva possível. O uso de técnicas computacionais para a resolução deste problema, maximização do retorno financeiro em frente à garantia da liquidez, vem aumentando consideravelmente e a obtenção de resultados razoáveis e de boa performance reforçam tal aplicação. O objetivo do artigo é propor a abordagem de Algoritmos Genéticos para o desenvolvimento de políticas de investimento para o setor de seguros, utilizando dados para os ativos obtidos da plataforma ComDinheiro e IpeaData, e para os dados de passivo, informações reais e públicas da seguradora Azul Companhia de Seguros Gerais S.A. cujo portfolio de produtos é homogêneo.

INDEX TERMS Ativo, gestão, passivos, seguros.

I. FORMALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A. CONTEXTUALIZAÇÃO

O mercado de seguros brasileiro vive cotidianamente um importante dilema no que tange à gestão de ativos e passivos, principalmente pelas características específicas do setor quanto aos limites regulatórios referentes às aplicações de ativos e ainda à característica e natureza comportamental de seu passivo. Antes de explorarmos a fundo tal dilema, é preciso detalhar de maneira breve como uma empresa do setor atua. A empresa atuante neste setor, usualmente é conhecida como seguradora. A seguradora ocupa uma importante posição na sociedade proporcionando estabilidade financeira perante acontecimentos imprevistos, indesejáveis e imensuráveis. Tal oferta de estabilidade financeira é realizada em troca de um valor monetário, valor este que é denominado prêmio. Os acontecimentos imprevistos, indesejáveis e imensuráveis são conhecidos como sinistros, estes que estão cobertos em acordância com a cobertura contratada perante a seguradora, observando sempre o limite de indenização estabelecido. O fluxo generalizado de operação de uma seguradora pode ser visto na figura 1.

Com base nesta explanação inicial do funcionamento de



FIGURE 1. Fluxo generalizado de operação de uma seguradora

uma seguradora, temos a identificação do componente base do dilema anteriormente citado: O recebimento do prêmio, apesar de estar à mercê do risco de crédito, é dado como previsível em um horizonte temporal definido. Por outro lado, o desembolso a título de indenização de sinistro, não o é, pois

tal concretização deste evento sofre das consequências estocásticas, ou seja, não é possível realizar a previsão, a priori. Para tal descasamento de fluxo de caixa e visando garantir a estabilidade dos resultados da operação, as seguradoras realizam estimativas majoritariamente estatísticas, utilizando médias simples e/o ponderadas, para constituir uma provisão para sinistros, constituição esta que terá como contraparte, parte do prêmio do segurado, tal parcela do prêmio que será atribuída à provisão é denominada como ativo garantidor, e são os ativos garantidores que serão investidos com o objetivo de obter receita financeira, potencializando, caso a estratégia adotada seja eficiente, o resultado gerado pela operação, resultado operacional, e ainda honrando as saídas futuras de caixa. A relação entre o ativo garantidor e as saídas futuras de caixa pode ser vista na figura 2.



FIGURE 2. Representação do modelo de fluxo de caixa

O dilema entre a gestão de ativos e passivos é conhecido como Asset Liability Management, o qual tem seu objetivo básico definido [1] como a busca pela melhor alocação de um volume de recursos em um portfólio de ativos quando essa alocação não é livre. No caso específico do setor de seguros, a alocação é restringida pelas saídas de caixa as quais são, em sua grande parte, pagamentos de indenizações de sinistros, que possuem natureza aleatória. Completando as características do setor, ainda temos restrições impostas pelo órgão regulador máximo nacional para seguros, Conselho Monetário Nacional - CMN, quanto aos limites de investimento dos ativos garantidores observando as classes dos ativos disponíveis. Tais restrições podem ser encontradas na resolução 4.444/2015, que estão disponíveis na figura 3:

B. MOTIVAÇÃO

Tal iniciativa é motivada pelo fato de que a gestão dos ativos e passivos de uma seguradora assume papel fundamental para um bom gerenciamento da companhia em termos estratégicos, financeiros e de solvência. O principal resultado é o que advém da operação principal, chamado de operacional, porém, com uma estratégia bem definida de investimentos, é possível potencializar tal resultado gerando ainda mais valor aos acionistas e garantindo o cumprimento dos requisitos regulatórios e operacionais. Obter resultado financeiro positivo é um desafio para muitas empresas do setor, principalmente pelo fato do mercado de valores mobiliários apresentar volatilidade. As seguradoras de maior porte possuem áreas específicas para desempenhar tal atividade, devido a sua alta importância. A inserção da abordagem computacional no

LIMITES	Segmentos →	Art. 13, inciso I	Art. 13, inciso II	Art. 13, inciso III	Art. 13, inciso IV
Modalidades	Renda Fixa	100%	100%	100%	100%
	Art. 8º, inciso I	100%	100,0%	100,0%	100,0%
	Art. 8º, inciso II	75%	75,0%	75,0%	75,0%
	Art. 8º, inciso III	50%	50,0%	50,0%	50,0%
	Art. 8º, inciso IV	25%	25,0%	25,0%	25,0%
	Renda Variável	70%	100%	49%	49%
	Art. 9º, inciso I	100%	70,0%	100,0%	49,0%
	Art. 9º, inciso II	75%	52,5%	75,0%	36,8%
	Art. 9º, inciso III	50%	35,0%	50,0%	24,5%
	Art. 9º, inciso IV	25%	17,5%	25,0%	12,3%
	Imóveis	20%	40%	20%	20%
	Art. 10	100%	20,0%	40,0%	20,0%
	Invest. Suj. à Var. Cambial	20%	40%	100%	10%
	Art. 11, inciso I	100%	20,0%	40,0%	10,0%
	Art. 11, inciso II	75%	15,0%	30,0%	7,5%
	Art. 11, inciso III	50%	10,0%	20,0%	5,0%
	Art. 11, inciso IV	25%	5,0%	10,0%	2,5%
	Outros	20%	40%	20%	20%
	Art. 12, inciso I	100%	20,0%	40,0%	20,0%
	Art. 12, inciso II	75%	15,0%	30,0%	15,0%
	Art. 12, inciso III	25%	5,0%	10,0%	5,0%

FIGURE 3. Modalidades de investimento e os respectivos limites de acordo com a Resolução CMN 4.444/2015

mundo de seguros vem paulatinamente ganhando expressão. Ela está presente na maioria dos casos em atividades relacionadas à precificação. Por outro lado, sua presença em áreas financeiras ainda é relativamente baixa, havendo então oportunidade para sua aplicação para esta finalidade. As opções disponíveis de ativos para investimento são de grande variedade e estão sendo atualizadas a todo momento, o que incrementa ainda mais o desafio para eleger uma estratégia vencedora dentre tantas combinações e cenários disponíveis.

C. IMPORTÂNCIA

A relevância do assunto para o setor de seguros é elevada, pois, como já mencionado anteriormente, é uma alternativa existente que pode potencializar o resultado e o valor da companhia para o acionista. Por outro lado, se a estratégia de investimentos não for bem estruturada, pode-se colocar em risco a saúde financeira da companhia, em termos de fluxo de caixa e solvência, bem como destruir resultado e valor. Essa importante vertente envolve diversas áreas dentro de uma seguradora, é um desafio multidisciplinar, pois os decisores sob a ótica do ativo necessitam de insumos sob a ótica do passivo para a tomada de decisão e esses insumos são provenientes de outras áreas, muitas vezes até atualizados diariamente de acordo com a dinâmica de seu portfólio de clientes e respectivas indenizações.

II. OBJETIVO

A. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente projeto é desenvolver a abordagem via Algoritmo Genético aplicado à estruturação e manutenção de estratégia de investimentos para o setor de seguros, considerando os desafios impostos pelas restrições de ativos sob a ótica regulatória bem como as restrições de passivo sob a ótica da dinâmica de saídas de caixa para indenização de sinistros.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir da abordagem via Algoritmo Genético deste problema, os objetivos específicos são: a obtenção do maior

resultado financeiro possível ao longo do cenário temporal considerado, adequação a todas as restrições regulatórias existentes e adequação às restrições de saída de fluxo de caixa.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. GERENCIAMENTO DE ATIVOS E PASSIVOS - ASSET LIABILITY MANAGEMENT (ALM)

A pesquisa pelo equilíbrio entre investimentos, garantia da liquidez de ativos e aumento do valor de mercado da empresa é uma tarefa difícil, mas de extrema importância para diversos negócios. Problemas de gestão de ativos e passivos, ou ainda Asset Liability Management – ALM, têm como principal obstáculo incertezas de mercado [2]. Tais passivos devem ser cobertos em todos os momentos do futuro e não apenas pelos valores dos ativos de hoje [3], ou seja, é de extrema importância a disponibilidade de recursos quando os pagamentos do passivo incorrerem, hoje ou no futuro, isto caracteriza a liquidez de uma companhia. Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando a otimização de investimentos de bancos e seguradoras, considerando as condições dos mais diversos cenários. Nos EUA, a quantidade de fundos de pensão que têm déficit de mais de \$ 50M para cumprir com suas obrigações para com os beneficiários aumentou consideravelmente, quando foram comparados dados de 2000 e 2004 [4]. A técnica aqui abordada, ALM, foi introduzida em meados da década de 1970, por instituições financeiras e desde então se tornou de extrema importância no que tange a gestão de risco [5]. Tendo em vista a necessidade de manter-se a liquidez e a rentabilidade do negócio, e ainda aumentar os lucros, um gerenciamento adequado de ativos é fundamental, e para tal gerenciamento, é necessário o desenvolvimento de um processo para sua estruturação. Muitos modelos de otimização da alocação de ativos foram desenvolvidos. Os modelos são classificados em quatro categorias, de acordo com o horizonte de otimização e as condições sob as quais o problema é modelado: modelo de período único, modelo de períodos múltiplos, modelo estático e modelo estocástico [6]. O presente projeto se encaixa na classificação de um modelo de período único e sob condições estáticas. A estratégia de Dedicação exige um equilíbrio entre fluxos de entrada e saída. Este modelo assume que todos os títulos sejam mantidos até o vencimento. A estratégia de Imunização baseia-se em reduzir a volatilidade do superávit obtido, protegendo os investimentos das flutuações de taxas de juros, por exemplo. Esta Imunização é feita associando os prazos dos ativos e dos passivos. O gerenciamento de lacunas mede a diferença entre os valores de passivos e ativos, com o objetivo de manter a diferença dentro de limites aceitáveis. O modelo de ALM pode ser determinístico ou estocástico, sendo que modelos determinísticos usam programação linear e consideram a concretização de eventos aleatórios. Os modelos lineares, apesar de relativamente simples, são ostensivamente utilizados para otimização do processo [7] [8]. Alguns autores também têm adotado modelos estocásticos na modelagem de passivos [9] [10]. É possível notar que o desenvolvimento de

pesquisas em ALM têm agregado otimização multiobjetivo. Além do objetivo patente de aumentar o lucro líquido, têm sido incorporados objetivos distintos, como a redução de riscos, ou a manutenção da participação de mercado [11]. Já o trabalho de Amaral e Gartner [12], propõe uma metodologia de seleção de investimentos que considera além do lucro, o impacto socioambiental. Nos casos mencionados, no entanto, a programação linear convencional não é suficiente para processar os problemas, tendo sido adotados modelos de programação por metas e modelos de algoritmos evolutivos. A complexidade dos problemas e os custos computacionais envolvidos tendem a ser maiores. Kosmidou and Zopoudinis [2] estudaram um cenário de otimização para um banco na Grécia, utilizando dados correspondentes a um ano e adotando um modelo de programação linear. Pela simplicidade do modelo, as variáveis adotadas são familiares para os tomadores de decisão, o que torna o modelo aplicável na realidade. Os dados utilizados na literatura analisada usualmente correspondem a períodos não tão longos, 60 meses ou menos. Isto acontece porque a inclusão de séries históricas de dados tornaria o problema mais complexo e não necessariamente aumentaria a precisão do modelo, ao contrário, é preciso considerar também que há mudanças nos padrões operacionais das companhias ao longo do tempo tanto de ativos, e principalmente, quanto de passivos. Logo, considerar períodos longos em demasia pode nos levar a conclusões equivocadas ou inexatas. A maioria dos trabalhos referentes a ALM encontrados na literatura foram realizados para bancos, mas como destacado por Habart et al [13], a técnica de ALM tornou-se fundamental tanto para bancos quanto seguradoras. No presente projeto, será realizada a avaliação especificamente para o segundo cenário, seguradoras. Os princípios do ALM são parecidos para os dois tipos de instituições, mas existem algumas diferenças importantes. Dentre as principais diferenças, no caso de uma seguradora, existe a imprevisibilidade do valor a ser pago e quando será pago no caso de sinistro, o que torna a modelagem dos passivos desafiadora. Em contrapartida, como um seguro normalmente é pago no momento da contratação e o pagamento de prêmio está diretamente associado à condição obrigatória para que ocorra a indenização, o problema de inadimplência, que corresponde a um risco relevante na modelagem de ALM para bancos, é de menor impacto no caso de seguradoras.

B. ALGORITMOS GENÉTICOS - AG

O uso de Algoritmos Genéticos foi popularizado na década de 1980 com o trabalho de [Goldberg 1989]. O procedimento é uma metaheurística e a busca que este tipo de algoritmo adota é a reprodução e a recombinação, imitando o processo de evolução genética. Segundo [Arenales et al 2007], os Algoritmos Genéticos são métodos populacionais baseados no processo biológico de seleção natural e hereditariedade, e envolvem uma evolução de populações de soluções convenientemente codificadas. Tal população mencionada é formada por um conjunto de indivíduos. Cada indivíduo é uma possível solução do problema. Uma geração representa uma

população de soluções. A função-objetivo de um problema torna-se a função de aderência, ou em inglês, fitness, que mede o quão adaptado um indivíduo é ao cenário proposto. Quanto maior o valor da função fitness, maior a probabilidade de um indivíduo ser escolhido para ser um pai e passar suas características adiante para os indivíduos da próxima geração. Além disso, para incluir diversidade nas soluções e, ainda conforme [Arenales et al 2007], com o objetivo de evitar uma convergência prematura do processo evolutivo, mutações são incluídas na produção de novas gerações. Com base nesta explicação, o funcionamento de um algoritmo genético pode ser descrito do seguinte modo:

- Passo 1: Geração da população inicial.
- Passo 2: Cálculo da função fitness para cada indivíduo.
- Passo 3: Seleção de pais.
- Passo 4: Crossover dos pais adicionando mutação, gerando a nova população.
- Passo 5: Parar caso o critério de parada seja atendido. Caso contrário, voltar para o passo 2.

Desde sua criação, os algoritmos genéticos têm sido aplicados nos mais diversos problemas. O trabalho de [Bastos e Longaray 2021] destaca o crescimento no uso de algoritmos genéticos para problemas de otimização multicritérios. Como mencionado anteriormente, as otimizações multicritérios têm sido bastante estudadas para problemas de ALM, como no trabalho de [Yu et al 2011], que acoplou uma ferramenta de gestão de riscos com um algoritmo genético a fim de otimizar o portfólio de investimentos de uma seguradora.

IV. METODOLOGIA

A. BASE DE DADOS

A informação a ser utilizada referente ao ativo garantidor, bem como informações para a elaboração da curva de pagamento de sinistros foram obtidas a partir das demonstrações financeiras publicadas da seguradora Azul na data de 31 de dezembro de 2022, obtidas no portal de relações com o investidor. Esta seguradora lida primariamente com contratos que possuem características homogêneas e de curto prazo, correspondentes a seguros de automóveis. Como podemos analisar na figura 4, o valor total dos ativos oferecidos em garantia na data-base de dezembro/2022 pela companhia em questão era de R\$ 1.461.073.000,00

As categorias consideradas para investimento são: Renda Variável, Renda Fixa, Fundos Imobiliários e Investimentos sujeitos à Variação Cambial. Os dados de rentabilidade para alternativas de investimento da categoria de renda variável e de fundos imobiliários foram obtidos a partir do portal de informações financeiras *comdinheiro.com.br* para os índices

19.2 GARANTIAS DAS PROVISÕES TÉCNICAS

De acordo com as normas vigentes, foram vinculados à SUSEP os seguintes ativos:

	Dezembro de 2022	Dezembro de 2021
Total das provisões técnicas (A).....	2.921.902	2.462.922
Direitos creditórios (i).....	1.385.743	1.070.288
Custos de aquisição diferidos pagos.....	336.525	309.834
Operações com resseguradoras.....	1.977	4.879
Total de ativos redutores da necessidade de cobertura (B).....	1.724.245	1.385.001
Necessidade de cobertura das provisões técnicas (C = A - B).....	1.197.657	1.077.921
Títulos de renda fixa - públicos.....	1.097.882	1.065.484
Quotas de fundos de investimento.....	983.191	153.434
Total de ativos oferecidos em garantia (E).....	1.461.073	1.218.918
Excedente (E - C - D).....	263.416	140.997

(i) Montante correspondente às parcelas a vencer dos prêmios a receber de apólices de riscos a decorrer.

FIGURE 4. Nota Explicativa 19.2: Garantia das Provisões Técnicas

de referência IBOV e IFIX, respectivamente. Foram selecionadas as ações e os fundos imobiliários componentes de tais índices na data de 22 de junho de 2023 e foram calculadas as variações nos valores das ações e dos fundos imobiliários considerando o período de 48 meses, a contar retroativamente de 1 de junho de 2023. Para as alternativas de renda fixa, as informações de rentabilidade foram extraídas e consideradas a partir do site oficial do Tesouro Direto. Os títulos considerados foram: TESOIRO PREFIXADO 2026, TESOIRO PREFIXADO 2029, TESOIRO SELIC 2026 e TESOIRO SELIC 2029. A taxa referencial SELIC do período vigente é de 13,75% a.a., obtida do portal Banco Central do Brasil. Por fim, para os investimentos sujeitos à variação cambial, foram adotadas informações provenientes do portal *ipeadata.gov.br* para as variações cambiais dos últimos 48 meses, retroativamente a partir de 01 de junho de 2023, para a principal moeda estrangeira: Dólar Americano. Alternativas com rentabilidade negativa foram excluídas. Por fim, foram consideradas 47 opções de investimento em alternativas de renda variável, 42 opções em fundos imobiliários, 4 opções em renda fixa e 1 opção em investimentos sujeitos à variação cambial, totalizando assim 94 alternativas para se investir.

1) Análise Exploratória

Os dados utilizados como alternativas para investimentos totalizam 94 alternativas segregadas entre 4 categorias. A categoria de investimentos sujeitos à variação cambial contempla a série histórica da cotação BRL/USD desde 31/05/2019 a 01/06/2023, totalizando assim 48 meses de série. Tal evolução temporal pode ser vista na figura 5 abaixo:

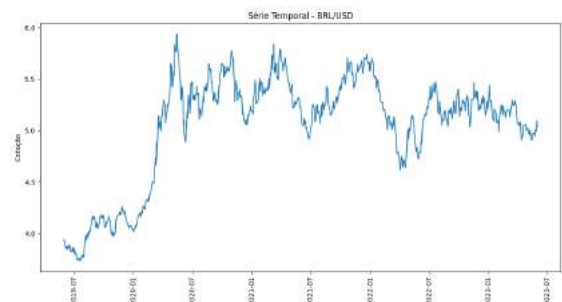


FIGURE 5. Evolução histórica da cotação cambial BRL/USD

Como é notório, desde maio/2019 houve uma variação positiva da cotação cambial na magnitude de 30% para o

período. Abaixo, na figura 6, também é possível avaliar as estatísticas descritivas da série.

Estatísticas descritivas:	
USD	
count	999
mean	5,043347
std	0,529405
min	3,739400
25%	4,941450
50%	5,199600
75%	5,386250
max	5,936600

FIGURE 6. Estatísticas Descritivas - Cotação BRL/USD

Apesar da variação total ser de aproximadamente 30%, é possível visualizar que o coeficiente de variação associado ao mesmo período, obtido da divisão entre o desvio-padrão e a média simples, foi de 10,50%.

Para os investimentos em Renda Variável e Investimentos Imobiliários, o corte temporal selecionado foi o mesmo, 48 meses a contar de 01/06/2023. Para este período foram calculados os retornos para: 12 meses, 24 meses, 36 meses e 48 meses. Para esta aplicação, o retorno considerando foi o retorno total do período, ou seja, 48 meses. Abaixo na figura 7 e 8, podemos visualizar os retornos calculados bem como a descrição dos ativos também considerados para Renda Variável e Investimentos Imobiliários, respectivamente.

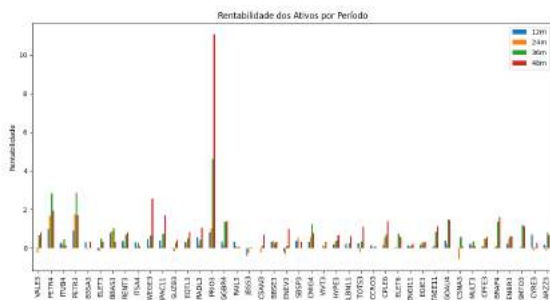


FIGURE 7. Rentabilidade por Ativo - Renda Variável

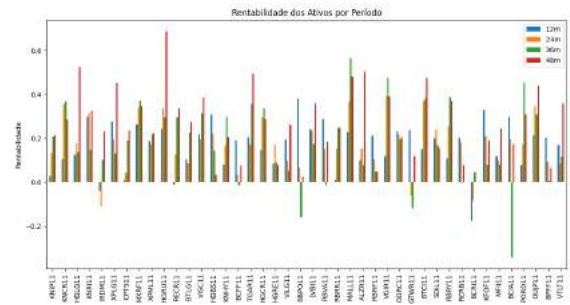


FIGURE 8. Rentabilidade por Ativo - Investimentos Imobiliários

$$R_1 : \sum_{i=1}^4 a_i / ativo_{garantidor} \leq limite_i \quad (1)$$

onde:

R_1 é a Restrição 1

i é cada categoria de ativo

a_i é o valor alocado na categoria i

$ativo_{garantidor}$ é o montante disponível

$limite_i$ é o % regulatório permitido

- 2) Imposta pelo cenário de run-off escolhido. Deste modo, a soma dos valores investidos não pode ultrapassar o ativo garantidor disponível.

$$R_2 : \sum_{n=1}^{12} x_n \leq ativo_{garantidor} \quad (2)$$

onde:

R_2 é a Restrição 2

n é o mês de referência

x_n é o valor investido no mês n

$ativo_{garantidor}$ é o montante disponível para investimento

- 3) Trata da curva de pagamento de sinistros. O valor resgatado dos investimentos deve cobrir o valor de indenização determinado para cada mês, garantindo, deste modo, o estado de liquidez da companhia, ponto chave para a estruturação da política de ALM.

$$R_3 : \sum_{n=1}^{12} y_n \geq fluxo_{sadan} \quad (3)$$

onde:

R_3 é a Restrição 3

n é o mês de referência

y_n é o valor resgatado no mês n

$fluxo_{sadan}$ é a saída de caixa para o mês n

- 4) Adotando um dos principais conceitos quando tratamos de investimentos, um fator foi incluído visando

B. RESTRIÇÕES

Foram adotadas quatro restrições para a modelagem do problema:

- 1) Refere-se aos limites regulatórios, já mencionados anteriormente.

a diversificação, e ainda, garantindo que o algoritmo não aloque todo o valor a ser investido em apenas uma alternativa.

C. ALGORITMO GENÉRICO

Os parâmetros adotados no algoritmo genético serão descritos em seguida.

Cada indivíduo do algoritmo representa uma lista com o valor a ser investido em uma alternativa específica, ou seja, uma possível estratégia de alocação do ativo garantidor. A função fitness, que descreve a aptidão de uma determinada solução, é o retorno obtido com tal estratégia, descrito como:

$$\sum_{j=1}^{1128} k_j * rentabilidade_j \quad (4)$$

onde:

j é a alternativa considerada

k_j é o valor investido na alternativa j

$rentabilidade_j$ é rentabilidade do ativo j

O tamanho definido de cada população foi de 20 indivíduos. Para a geração da população inicial, foi escolhido um valor uniforme para as alternativas de cada categoria. Este valor foi gerado aleatoriamente. Para a seleção dos pais, os 8 melhores indivíduos de cada geração foram selecionados. O crossover destes indivíduos é feito de modo que os descendentes herdam a primeira metade dos genes do Pai 1 e a segunda do Pai 2, e assim por diante. As mutações foram definidas dividindo a população em m partes, onde m é a quantidade de mutações adotadas. Cada uma destas partes teve o último valor modificado aleatoriamente, dentro de um intervalo definido. Por fim, o critério de parada adotado foi a quantidade de gerações, que ficou definida em 100. Uma dificuldade encontrada na modelagem de problemas através de metaheurística é como lidar com restrições. Programas de otimização linear já esperam que o espaço de busca seja reduzido através de tais restrições. Neste trabalho, optamos pela aplicação de penalidades à função fitness. Ou seja, em uma solução qualquer, se alguma das restrições não for atendida, há descontos na função fitness, tornando aquela solução menos provável de gerar descendentes nas próximas gerações.

V. RESULTADOS

Após a implementação da metodologia citada anteriormente, a simulação através do Algoritmo Genético se mostrou parcialmente eficiente, porém com um ponto crítico a se destacar, o ponto de partida de cada geração. Cada início de simulação é provido de valores aleatórios para cada alternativa de investimento e a partir de então a busca pelo melhor fitness é realizada, considerando todas as penalizações oriundas das restrições já comentadas. Ficou evidente que o resultado final da simulação é extremamente dependente da geração inicial, tendo casos onde a cada processamento

o resultado obtido foi satisfatório, como pode ser visto nas figuras 9 e 10 abaixo, onde a evolução do montante final é apresentada bem como a evolução da função fitness, respectivamente.

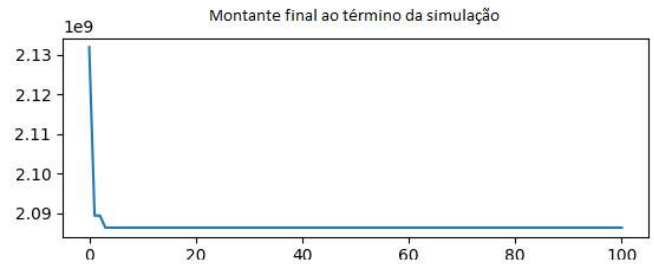


FIGURE 9. Evolução do montante final ao longo da simulação



FIGURE 10. Evolução da função fitness ao longo da simulação

Não obstante, o modelo implementado não é estável, isto é, a cada processamento um novo resultado é gerado diferentemente do anterior, não há uma estabilização onde os parâmetros utilizados sejam similares, principalmente devido ao componente aleatório presente na geração inicial.

Considerando o cenário do processamento evidenciado pelos gráficos anteriores, na figura 11 abaixo é possível avaliar o resultado final para a rentabilidade obtida.

Descrição	Valor
(+) Montante final	1.461.073.000
(-) Montante inicial	2.086.281.844
(=) Resultado financeiro \$	625.208.844
(=) Resultado financeiro %	42,79%

FIGURE 11. Resultado final do processamento

Para se obter uma avaliação do resultado obtido, é preciso comparar com o resultado real da empresa para a data-base em questão, observando novamente as demonstrações financeiras publicadas pela Azul Companhia de Seguros Gerais S.A. podemos verificar que o resultado financeiro para a data-base de dezembro/2022 foi de R\$ 129.079.000, cuja rentabilidade em percentual foi em torno de 8,83% a.a. versus 42,79% a.a. obtidos a partir do modelo aqui implementado. Podemos concluir que o resultado do Algoritmo Genético foi satisfatório para este processamento, mas vale ressaltar

que tal resultado obtido não é estável, o que o torna pouco apelativo.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se dispôs a estruturar uma política ótima de investimentos para uma seguradora, considerando restrições impostas pelos passivos, através da metodologia de Algoritmo Genético. Dadas as características estocásticas e diversas abordagens de cenários que o problema analisado apresenta, foram realizadas simplificações para tornar o problema tratável para este trabalho. Os resultados obtidos com tais simplificações demonstraram que o modelo de Algoritmos Genéticos foi capaz de obter um resultado superior, quando comparamos com o resultado real obtido pela empresa analisada no período, porém sua qualidade e sua sustentabilidade não podem ser garantidas devido à alta variabilidade no resultado final cujo ponto de partida foi considerado como um processo aleatório.

Tendo em vista todos os pontos aqui elencados, são vislumbradas oportunidades para futuros estudos relacionando Asset Liability Management com o setor seguradora, visto que há potencial devido ao desafio e à relevância do assunto. As simplificações realizadas em termos de característica estocástica, prazo modelado, seleção de ativos a se investir, característica do tipo de produto a ser tratado e definição de continuidade da operação foram cruciais para os resultados aqui obtidos, tornaram o problema particular e distante da realidade ampla, da generalização.

REFERENCES

- [1] MARQUES, Demóstenes. ASSET AND LIABILITY MANAGEMENT (ALM) PARA ENTIDADES FECHADAS DE PREVIDÊNCIA COMPLEMENTAR NO BRASIL: Validação de um modelo de otimização com a aplicação a um caso prático. Brasília, 2011.
- [2] ZOPOUNIDIS, K. K. C. (2002) An optimization scenario methodology for bank asset liability management. Operational Research.
- [3] WÜTHRICH, Mario V. e MERZ, Michael. (2013) Financial Modeling, Actuarial Valuation and Solvency in Insurance.
- [4] BRANDT, J. H. van B. M. W. (2007). Optimal asset allocation in asset liability management. National Bureau of Economics Research.
- [5] HABART, Marine Corlosquet et al (2015). Asset and Liability Management for Banks and Insurance Companies.
- [6] BHAT, D. A. (2020) A review of asset liability management models. Center for Open Science.
- [7] DASH, M.; PATHAK, R. (2009). A linear programming model for assessing asset-liability management in banks. SSRN Electronic Journal, Elsevier BV.
- [8] VALLADÃO, D. M.; VEIGA, Á.; VEIGA, G. (2014) A multistage linear stochastic programming model for optimal corporate debt management. European Journal of Operational Research, Elsevier BV, v. 237, n. 1, p. 303–311.
- [9] LHUMAIDAH, F. (2015) Asset-liability management for reserves under liquidity constraints: the case of Saudi Arabia. (S.l.: s.n.).
- [10] GERSTNER, T. et al (2008). A general asset–liability management model for the efficient simulation of portfolios of life insurance policies. Insurance: Mathematics and Economics, Elsevier BV, v. 42, n. 2, p. 704–716.
- [11] GIOKAS, D.; VASSILOPOULOU, M. (1991) A goal programming model for bank assets and liabilities management. European Journal of Operational Research, Elsevier BV, v. 50, n. 1, p. 48–60.
- [12] AMARAL, F. V. A.; GARTNER, I. R. (2021). Portfolio impact investment management using multi-objective optimization. Pesquisa Operacional, v. 41.
- [13] ABRATE, C. (2021); Continuous-Action Reinforcement Learning for Portfolio Allocation of a Life Insurance Company.
- [14] GOLDBERG, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [15] ARENALES, M. et al (2007). Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Elsevier.
- [16] BASTOS, T. R.; LONGARAY, A. A. (2021). Algoritmos Genéticos aplicados a métodos multicritério: Uma revisão sistêmica da literatura. In: Anais do Simpósio brasileiro de Pesquisa Operacional.
- [17] YU, T.; TSAI, C.; HUANG, H.; CHEN, C. (2011) Applying simulation optimization to dynamic financial analysis for the asset–liability management of a property–casualty insurer, Applied Financial Economics, 21:7, 505–518.
- [18] BRASIL. Resolução nº 4.444 de 13 de novembro de 2015. Brasília: Banco Central do Brasil, 2015. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/https/normativ/Resolucao4444.pdf?r=1>. Acesso em 18 de abril de 2023.
- [19] "<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38590module=M>". Acesso em 18 de abril de 2023.
- [20] <https://www.comdinheiro.com.br/>. Acesso em 18 de abril de 2023.

00

...