



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB)  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS (CCSA)  
DEPARTAMENTO DE FINANÇAS E CONTABILIDADE (DFC)  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS ATUARIAIS (CCSA)**

**EDUARDO PAULINO AMORIM FILHO**

**ANÁLISE DA GESTÃO DE ATIVOS DE CURTO PRAZO EM UM REGIME PRÓPRIO  
DE PREVIDÊNCIA SOCIAL (RPPS) UTILIZANDO O MODELO ASSET  
LIABILITY MANAGEMENT (ALM)**

**JOÃO PESSOA, PB**

**2019**

**EDUARDO PAULINO AMORIM FILHO**

**ANÁLISE DA GESTÃO DE ATIVOS DE CURTO PRAZO EM UM REGIME PRÓPRIO  
DE PREVIDÊNCIA SOCIAL (RPPS) UTILIZANDO O MODELO ASSET  
LIABILITY MANAGEMENT (ALM)**

Trabalho de Conclusão de Curso para o curso de Ciências Atuariais na UFPB, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Atuariais.

**Área de concentração:** Sistema previdenciário

**Orientador:** Prof. Me Filipe Coelho de Lima Duarte

**JOÃO PESSOA, PB**

**2019**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

F481a Filho, Eduardo Paulino Amorim.

Análise da gestão de ativos de curto prazo em um regime próprio de previdência social (RPPS) utilizando o modelo Asset Liability Management (ALM) / Eduardo Paulino Amorim Filho. - João Pessoa, 2019.

54 f.

Orientação: Filipe Coelho de Lima Duarte.  
TCC (Especialização) - UFPB/CCSA.

1. Regime Próprio de Previdência Social. 2. Solvência de plano de benefícios. 3. Gestão de ativos e passivos (ALM). 4. Algoritmo genético para alocação de ativos. 5. Modelo determinístico para mensuração de passivo. I. Duarte, Filipe Coelho de Lima. II. Título.

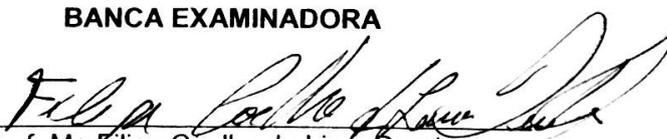
UFPB/CCSA

**EDUARDO PAULINO AMORIM FILHO**

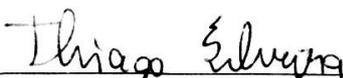
**ANÁLISE DA GESTÃO DE ATIVOS DE CURTO PRAZO EM UM REGIME PRÓPRIO  
DE PREVIDÊNCIA SOCIAL (RPPS) UTILIZANDO O MODELO ASSET  
LIABILITY MANAGEMENT (ALM)**

Trabalho de Conclusão de Curso para o curso de Ciências Atuariais na UFPB, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Atuariais.

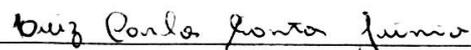
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me Felipe Coelho de Lima Duarte  
(Orientador)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Bel. Thiago Silveira  
Membro avaliador  
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. Luiz Carlos Santos Júnior  
Membro avaliador(a)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus criador de todas as coisas pela sua graça e misericórdia, pois sem sua presença na minha vida, nada disso seria possível.

À minha querida esposa Luize Anny por todo o incentivo e apoio desde o início do curso e aos seus pais Luiz Camelo e Alecina Cardoso e sua irmã Luize Êmile, por todos os conselhos.

À minha irmã Marília Rebeca por ter me informado sobre o curso de Ciências Atuariais e ter me feito buscar mais informações, levando-me a escolher e me interessar pela área.

Aos meus pais Eduardo Amorim e Kétima Amorim pela educação ao longo de toda minha caminhada escolar e acadêmica, pela paciência e amor dedicados.

Aos meus Avós José Geraldo e Maria dos Prazeres pelo incentivo a persistir nos estudos, pela paciência; e a todos os meus familiares pelos conselhos.

À excelente equipe de professores que ensinam no curso de ciências atuariais, especialmente, ao meu professor orientador Filipe Duarte por me incentivar, acreditar no meu trabalho, dando-me uma missão tão desafiadora, e por compartilhar seus conhecimentos.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar a aplicação de um modelo de gestão de ativos e passivos (ALM) com ênfase no curto prazo para o Regime Próprio de Previdência Social (RPPS) do município de Cabedelo – PB. Para tanto, analisou-se, inicialmente, a legislação referente à política de investimentos dos RPPS. Em seguida, a simulação de Monte Carlo foi utilizada para projetar os ativos, ao passo que os passivos foram calculados pelo método determinístico. A função objetivo adotada para o ALM foi a de minimizar a probabilidade de insolvência e a seleção de carteira otimizada foi encontrada utilizando algoritmo genético com a alocação mensal dos ativos. Cenários alternativos foram elaborados como análise de sensibilidade. Os resultados mostraram a importância de investir em fundo de ações, razão pela qual observou-se aumento do retorno acumulado e redução da probabilidade de insolvência. A legislação atual, porém, limita os investimentos em renda variável em 30% para os RPPS que não comprovarem as melhores práticas de gestão previdenciária. Na prática, a maioria dos regimes próprios estão longe desse limite. Sendo assim, este estudo mostrou a importância do algoritmo genético para minimizar a probabilidade de insolvência e maximizar a rentabilidade dos ativos e como os limites de aplicação escolhidos afetam no resultado. Recomenda-se para os próximos trabalhos analisar a gestão de ativos e passivos no longo prazo juntamente com o curto prazo.

Palavras-chave: Regime Próprio de Previdência Social. Solvência de plano de benefícios. Gestão de ativos e passivos (ALM). Algoritmo genético para alocação de ativos. Modelo determinístico para mensuração de passivo.

## **ABSTRACT**

The aim of this work was to apply an asset and liability management (ALM) model with emphasis on the short term for the Own Social Security Scheme (OSSS) of Cabedelo - PB. To this end, the legislation regarding the OSSS investment policy was analyzed. Monte Carlo simulation was used to project assets, while liabilities were calculated by the deterministic method. The objective function adopted for ALM was to minimize the probability of insolvency and the optimized portfolio selection was found using genetic algorithm with monthly asset allocation. Alternative scenarios were elaborated as sensitivity analysis. The results showed the importance of investing in equity funds, which is why there was an increase in accumulated return and a reduction in the probability of insolvency, but current legislation limits investments in equities by 30%, for the RPPS that do not prove the practical melodies of social security, and in practice most schemes themselves are far from this limit. Therefore, this study showed the importance of the genetic algorithm to minimize the probability of insolvency and maximize the profitability of the assets and how the chosen application limits affect the result. It is recommended for future work to analyze long-term asset and liability management along with short term.

Key words: Own Social Security Scheme. Genetic Algorithm. Asset and liability management.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Quantidade de municípios por estado que utilizam RGPS/RPPS ...	11
<b>Tabela 2 -</b>	Limites de aplicações dos ativos do RPPS .....	13
<b>Tabela 3 -</b>	Regras de aposentadoria do IPSEMC.....	24
<b>Tabela 4 -</b>	Informações dos fundos de investimentos escolhidos .....	27
<b>Tabela 5-</b>	Estatísticas dos servidores municipais de Cabedelo.....	30
<b>Tabela 6 -</b>	Folha mensal e remuneração média dos servidores municipais de Cabedelo.....	31
<b>Tabela 7 -</b>	Fluxo de caixa financeiro mensal.....	31
<b>Tabela 8 -</b>	Reserva matemática e retorno necessário para o equilíbrio atuarial	31
<b>Tabela 9 -</b>	Estatística descritiva do retorno dos fundos de investimento .....	32
<b>Tabela 10 -</b>	Estatísticas descritivas do retorno acumulado dos Fundos de Investimento (período de janeiro de 2008 até dezembro de 2018)..	34
<b>Tabela 11 -</b>	Correlação dos retornos.....	36
<b>Tabela 12 -</b>	Carteiras de um único fundo de investimento.....	37
<b>Tabela 13 -</b>	Carteira otimizada pelo algoritmo genético.....	37
<b>Tabela 14 -</b>	Composição das carteiras sem alterações de pesos.....	38
<b>Tabela 15 -</b>	Estatística descritiva do retorno mensal das carteiras.....	38
<b>Tabela 16 -</b>	Probabilidade de insolvência e retorno acumulado das carteiras....	39
<b>Tabela 17 -</b>	Limite de aplicação para as carteiras otimizadas pelo Algoritmo Genético.....	40
<b>Tabela 18 -</b>	Composição da carteira GA 02.....	40
<b>Tabela 19 -</b>	Composição da carteira GA 03.....	41
<b>Tabela 20 -</b>	Estatística descritiva das carteiras otimizadas.....	41
<b>Tabela 21 -</b>	Probabilidade de insolvência e retorno acumulado das carteiras otimizadas .....	42

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Box plot do retorno dos fundos.....	32
<b>Figura 2 -</b>	Densidade do retorno dos fundos .....	33
<b>Figura 3 -</b>	Risco e retorno dos retornos dos fundos.....	34
<b>Figura 4 -</b>	Retorno acumulado dos fundos.....	35
<b>Figura 5 -</b>	Retorno previsto dos fundos.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGR – Método Agregado

ALM – Asset Liability Management

ANBIMA – Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiros e de Capitais

CADPREV – Sistema de Cadastro dos Regimes Próprios de Previdência Social

CDB – Certificado de Depósito Bancário

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho

CMN – Conselho Monetário Nacional

COI – Carteira de Obrigações Imunizadas

CUN – Crédito Unitário

CUP – Crédito Unitário Projetado

DRAA – Demonstração de Resultados da Avaliação Atuarial

EFPC – Entidade Fechada de Previdência Complementar

FDIC – Fundos de Investimentos em Direito Creditórios

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEN – Idade Normal de Entrada

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPSEMC – Instituto de Previdência dos Servidores Municipais de Cabedelo

LIG – Letras Imobiliárias Garantidas

MPS – Ministério da Previdência Social

PIB – Produto Interno Bruto

RC – Regime Financeiro de Capitalização

RCC – Regime Financeiro de Repartição de Capitais de Cobertura

RGPS – Regime Geral de Previdência Social

RM – Reserva Matemática

RPC – Regime de Previdência Complementar

RPPS – Regime Próprio de Previdência Social

RS – Regime Financeiro de Repartição Simples

SUSEP – Superintendência de Seguros Privado

TPF – Títulos Públicos Federais

VABF – Valor Atual dos Benefícios Futuros

VACF – Valor Atual das Contribuições Futuras

VAR – Vetor Auto-Regressivo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	6
1,1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	6
1.2	QUESTÃO DE PESQUISA.....	8
1.3	OBJETIVOS.....	8
1.4	JUSTIFICATIVA.....	9
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	11
2.1	REGIME PRÓPRIO DE PREVIDÊNCIA SOCIAL .....	11
2.2	RISCO.....	14
2.3	GESTÃO FINANCEIRA DE ATIVOS DE RENDA FIXA E RENDA VARIÁVEL.....	15
2.4	GESTÃO ATUARIAL DOS RPPS .....	16
2.5	MODELO ASSET LIABILITY MANAGEMENT.....	18
2.6	ALGORITMOS GENÉTICOS .....	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	24
3.1	BASE CADASTRAL.....	24
3.2	PREMISSAS E PASSIVOS ATUARIAIS .....	24
3.3	RETORNO ESPERADO DOS ATIVOS.....	26
3.4	MODELO ALM.....	27
3.5	SELEÇÃO DE CARTEIRAS.....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	30
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Secretaria da Previdência classifica a previdência em três categorias: a previdência social que é o Regime Geral de Previdência Social (RGPS), a previdência no serviço público que é o Regime Próprio de Previdência Social (RPPS) e a previdência complementar que é o Regime de Previdência Complementar (RPC). O RGPS é administrado pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) e é destinado aos trabalhadores vinculados à Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), já o RPPS é gerenciado por entidades públicas, Institutos de Previdência ou Fundos Previdenciários e é destinado aos servidores públicos titulares de cargos efetivos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. O RPC é instituído por Entidades Abertas e Fechadas de Previdência Complementar e tem o objetivo de proporcionar uma renda complementar ao trabalhador, com o intuito de complementar a sua previdência oficial.

A Previdência Social brasileira é um tema que está em pauta tanto no Congresso Nacional como nas mídias sociais, pois as reformas que estão sendo discutidas afetam a vida financeira dos trabalhadores. O cenário econômico atual do país e as projeções demográficas são os principais motivos para intensificar as discussões sobre a reforma previdenciária no país.

No tocante às projeções demográficas, tem-se que a taxa de fecundidade total projetada em 2018 é de 1,77 filho por mulher, enquanto a previsão para 2060 é que a média será reduzida para 1,66 filho por mulher. A taxa de mortalidade infantil prevista em 2018 é de aproximadamente 12%, enquanto para 2060 reduzirá para 6,91%. A expectativa de vida ao nascer em 2018 é de 76,25 anos, já a projeção para 2060 é de 81,04 anos e, nesse mesmo ano, um quarto da população deverá possuir mais de 65 anos. Para cada grupo de 100 pessoas com a idade de trabalhar, ou seja, de 15 a 64 anos, deverão existir 67,4 pessoas abaixo de 15 anos ou acima de 65 anos (IBGE, 2018).

Somado ao cenário supracitado, temos que no ano de 2015 a receita previdenciária no RGPS foi de aproximadamente R\$ 350 bilhões e a despesa previdenciária alcançou R\$ 436,09 bilhões, gerando uma necessidade de financiamento de R\$ 85,82 bilhões, conforme IPEA (2017). Diante da crise econômica, do baixo crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), desacelerando a

criação de empregos, e a política de reajustamento do salário mínimo, definida pela soma da inflação do ano anterior mais a variação do PIB do ano retrasado (causando impactos inferiores em relação a anos anteriores), houve uma queda real da receita líquida e um aumento significativo da necessidade de financiamento nos últimos dois anos (IPEA, 2017). Frente a esse quadro de mudanças demográficas e crise econômica, as reformas discutidas pelo governo terão o RGPS como o principal alvo em relação ao RPPS e ao RPC (MACHADO, 2017).

Diferentemente do RPPS, o RGPS, para as aposentadorias programadas, possui o regime financeiro de repartição simples que, de acordo com a Superintendência de Seguros Privado (SUSEP), as contribuições pagas pelos participantes deverão ser suficientes para pagar os benefícios de um determinado período, ou seja, os participantes ativos financiam o pagamento dos benefícios dos participantes aposentados (SUSEP, 2019).

Diante das mudanças demográficas e do envelhecimento populacional, o regime financeiro do RPPS, sendo o de capitalização para as aposentadorias programadas, estabelece uma reserva financeira no período laborativo do participante, a fim de garantir o pagamento dos benefícios futuros. Logo, apresenta vantagem em relação ao RGPS (MYRRHA; OJIMA, 2016).

Diante desse contexto, reformas estruturais da Previdência Social são necessárias, contudo, essa transição pode ser muito dispendiosa e inviável para o Estado. Sendo assim, uma das medidas que o governo tomou para desafogar o RGPS foi incentivar a criação de RPPS (MYRRHA; OJIMA, 2016).

Como o regime de capitalização depende da rentabilidade dos mercados financeiros e, conseqüentemente, depende do cenário econômico e da gestão do fundo, esse regime pode possuir certas fraquezas dependendo da conjuntura econômica (MYRRHA; OJIMA, 2016). Como o RPPS investirá os recursos visando alcançar um retorno para os investimentos, é de fundamental importância a existência de um resultado mínimo das aplicações financeiras a fim de permitir o pagamento dos benefícios. Caso contrário, se a rentabilidade dos investimentos não for adequada, a solvência da entidade e a sua existência estarão ameaçadas (BOGONI; FERNANDES, 2011).

A Solvência está atrelada à capacidade de pagar os benefícios futuros assumidos. Logo, pode-se supor que um dos principais motivos de insolvência esteja relacionado ao descasamento entre ativo e passivo do plano. Diante disso, a

observação do comportamento das obrigações será um dos requisitos a nortear a decisão de alocação de ativos (CHAN; SILVA, MARTINS, 2010).

Frente ao exposto, a técnica *Asset Liability Management* (ALM) é primordial para a boa gestão financeira de qualquer instituição que administre investimentos com o intuito de suprir as necessidades de fluxo de caixa futuro (SILVA, 2015). O modelo ALM tem o objetivo de minimizar o risco de descasamento entre o ativo e o passivo atuarial focando nos riscos de taxa de juros, verificando também os riscos de crédito, liquidez e de volatilidade de margens de lucro. A aplicação do método ALM é necessária para planos de benefício definido ou de contribuição definida com renda vitalícia, pois existe o risco de descasamento entre ativo e passivo (HURTADO 2008).

É de fundamental importância que o RPPS possua uma gestão eficaz e eficiente de alocação de ativos (ALM), que respeite os princípios e limites dispostos na lei, a fim de alcançar os equilíbrios atuarial e financeiro. O gestor do RPPS precisa associar as datas de vencimento das aplicações dos recursos com a previsão de pagamento dos benefícios correntes e futuros com o objetivo de não efetuar a venda de algum ativo antes do tempo (CASTRO, 2014).

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos visando à alocação estratégica. Pode-se citar Silva (2016) que utilizou a técnica ALM em um RPPS, Varanis (2014) em um fundo de pensão e Amaral (2010) em uma Entidade Fechada de Previdência Complementar (EFPC). Este último, inclusive, coloca como sugestão para trabalho futuro o desenvolvimento de projeções mensais no lugar de anuais.

## 1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Como minimizar a probabilidade de insolvência de um RPPS com foco na gestão de curto prazo utilizando o modelo *Asset Liability Management* (ALM)?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Propor um modelo de ALM com ênfase na minimização da probabilidade de insolvência de curto prazo de um RPPS.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Analisar a legislação referente a política de investimentos dos RPPS;
- ✓ Fixar as premissas para o cálculo do passivo atuarial;

- ✓ Elaborar um modelo de ALM com periodicidade mensal que minimiza a probabilidade de insolvência;
- ✓ Elaborar cenários alternativos como análise de sensibilidade.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Diante da crise da previdência social no país, o mercado de previdência complementar ganha importância e vem crescendo nos últimos anos. Com isso, uma das maneiras que o governo adotou para desafogar o RGPS foi incentivar a criação de RPPS, pois com sua implementação os funcionários migram do RGPS para o RPPS.

A gestão de um RPPS exige profissionais altamente qualificados devido a sua complexidade. Muitas prefeituras implantam o RPPS no seu município, porém, devido as suas limitações (o município só pode gastar até 2% das contribuições com despesas administrativas), não conseguem profissionais capacitados para tomar as melhores decisões (MYRRHA; OJIMA, 2016).

De acordo com uma pesquisa realizada por Bogoni e Fernandes (2011), verificou-se que uma média de 70% dos gestores de RPPS dos municípios do estado do Rio Grande do Sul não adotam práticas de gestão de investimentos em seus respectivos fundos. Eles também verificaram que muitos gestores informaram que as aplicações financeiras, nas quais seus fundos encontram-se enquadrados, são de baixo risco. Conseqüentemente, possuem um baixo retorno, e, pode-se subentender, que a maioria aplica os recursos do RPPS em renda fixa sob a forma de títulos públicos.

Segundo o Sistema de Cadastro dos Regimes Próprios de Previdência Social (Cadprev), observa-se que no final de 2017 os investimentos dos RPPS estavam distribuídos da seguinte forma: 92,9% dos recursos encontram-se aplicados em renda fixa (títulos públicos federais, fundos de investimento em renda fixa e fundos de investimento em direitos creditórios, entre outros.) e apenas 7,1% em renda variável (fundos de ações, multimercado, entre outros.).

Nesse sentido, percebe-se que há concentração dos investimentos nos RPPS, o que não condiz com as boas práticas da gestão de riscos. A gestão de riscos aprimorada, que perpassa pelo acurado dimensionamento dos fluxos de caixa, reduz a probabilidade de que ocorram eventos geradores de insolvência.

Dessa maneira, uma vez que uma boa gestão de passivo aponta o dever atual de cobertura dos compromissos atuariais, torna-se necessária a observação de investir ou desinvestir conforme compromissos correntes, de médio e longo prazos. Uma boa política de investimentos examina a relação risco-retorno para orientar se, onde e quanto se deve investir (RODRIGUES, 2008).

Uma boa política de investimentos, resultando em boas aplicações financeiras, será fundamental para garantir o equilíbrio financeiro e atuarial. Com isso, será analisado um regime próprio de previdência social com foco na alocação de recursos de curto prazo com o objetivo de aumentar a rentabilidade. Será aplicado o modelo de gestão de ativos e passivos ALM.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 REGIME PRÓPRIO DE PREVIDÊNCIA SOCIAL

O art. 40 da Constituição Federal, a contar da Emenda Constitucional 20/98, prevê um regime de previdência de caráter contributivo para servidores de cargos efetivos da administração direta (União, Estados, Distrito Federal e Municípios), autarquias e fundações, preservando o equilíbrio financeiro e atuarial. Esse regime é conhecido como o Regime Próprio da Previdência Social (RPPS) e é apresentado como uma opção para os entes federativos em relação ao Regime Geral da Previdência Social (RGPS).

Para instalar um RPPS, é necessário que o ente público execute uma avaliação verificando a possibilidade de implementar o regime, realizando um cálculo atuarial com o propósito de orçar as necessidades de contribuição considerando as características dos contribuintes (MACHADO, 2017). A principal vantagem para o ente público implementar um RPPS é uma possível redução de sua contribuição patronal (MYRRHA; OJIMA, 2016).

Conforme as estatísticas disponíveis pela Secretaria da Previdência, até 30 de abril de 2019 havia 2.138 RPPS estabelecidos nos municípios e 3.437 municípios ligados ao RGPS.

Tabela 1: Quantidade de municípios por estado que utilizam RGPS/RPPS

UF	Regime		
	RGPS	RPPS	RPPS em Extinção
AC	21	2	-
AL	29	74	-
AM	36	27	-
AP	13	4	-
BA	379	37	2
CE	119	65	1
DF	-	1	-
ES	44	35	-
GO	75	171	1
MA	171	47	-
MG	630	219	5
MS	29	51	-
MT	36	106	-
PA	115	30	-
PB	153	71	-
PE	36	149	-
PI	155	68	2
PR	221	178	1

Tabela 1: Quantidade de municípios por estado que utilizam RGPS/RPPS

UF	Regime		
	RGPS	RPPS	RPPS em Extinção
RJ	13	79	1
RN	128	39	1
RO	23	30	-
RR	14	2	-
RS	168	329	1
SC	225	70	1
SE	71	4	1
SP	422	221	3
TO	111	29	-
<b>Total</b>	<b>3437</b>	<b>2138</b>	<b>20</b>

Fonte: Secretaria de Previdência – Ministério da Fazenda (30/04/2019)

De acordo com a Portaria MPS 403/2008, o equilíbrio financeiro é a garantia de equivalência entre as receitas auferidas e as obrigações do RPPS em cada exercício financeiro. Já o equilíbrio atuarial é a garantia de equivalência, a valor presente, entre o fluxo das receitas estimadas e das obrigações projetadas, apuradas atuarialmente, a longo prazo.

É pertinente manter atualizado com confiabilidade e qualidade o banco de dados de informações previdenciárias dos servidores para que o resultado da avaliação atuarial seja fidedigno. Conforme prevê o artigo 5º da portaria MPS 403/2008, as hipóteses atuariais devem ser adequadas às características da massa dos segurados para a elaboração da avaliação atuarial.

A resolução CMN nº 3.922/10 dispõe sobre as aplicações dos recursos dos regimes próprios da previdência social e tem alterações das resoluções nº 4.392/14 e nº 4.604/17. Os artigos 7 e 8 apresentam os limites das aplicações de acordo com os variados tipos de investimentos disponíveis no mercado financeiro. Castro (2014) criou uma tabela informando os limites de aplicações dos ativos do RPPS, segue a Tabela 2 adaptada de acordo com a legislação em vigor.

Tabela 2: Limites de aplicações dos ativos do RPPS

Segmento	Limite de aplicação por segmento	Ativo	Limite de aplicação por ativo	Limite aplicação por fundo
Renda Fixa	100%	Títulos Públicos Federais (TPF)	100%	
		Fundos constituídos de TPF referenciados a índices de renda fixa não atrelado à taxa de juros de um dia	100%	
		Fundos constituídos de TPF em índices de mercado de renda fixa	100%	
		Operações Compromissadas (TPF)	5%	
		Fundos referenciados a índices de renda fixa não atrelado à taxa de juros de um dia	60%	20%
		Fundos de Renda Fixa e índice de Renda Fixa	40%	20%
		Poupança	15%	
		Letras Imobiliárias Garantidas (LIG)	20%	
		Certificado de Depósito Bancário	15%	
		Fundos de Investimentos em Direito Creditórios (FDIC)	5%	
		Fundos de Debêntures de que trata a Lei nº 12.431	5%	
		Fundos Renda Fixa Crédito Privado	5%	
		Renda Variável	30%	Fundos de Ações e índices (Índices com no mínimo 50 ações)
Fundos de Renda Variável e índices aberto	20%			
Fundos Multimercado aberto SEM Alavancagem	10%			
Fundos de Investimento em Participações fechados	5%			
Fundos de Investimento Imobiliário	5%			

Fonte: Adaptada de CASTRO, 2014

Houve algumas alterações, recentemente, na Resolução CMN nº 3.922/10, entrando em vigor em novembro de 2018 a Resolução nº 4.695. Dentre as modificações destaca-se: para cada nível de adoção de melhores práticas de gestão previdenciária, que varia de 1 a 4, que o RPPS comprovar junto à Secretaria de Previdência do Ministério da Fazenda (atual Ministério da Economia), ter-se-á um acréscimo de 5% no limite máximo de aplicação no segmento de renda variável, podendo alcançar 50% em renda variável.

Um Fundo de Investimento agrupa os ativos financeiros de vários investidores numa estrutura formal com o propósito de realizar investimentos conjuntos. A criação de um fundo é executada pelo seu administrador, que estabelece seus objetivos, políticas de investimentos, as taxas administrativas e as outras regras de participação e organização (MACHADO, 2017).

A gestão profissional, a permissão em investimentos com categorias que demandam alto valor inicial de aplicação, pulverização dos custos e a barganha na negociação são os principais benefícios dos fundos de investimentos. Os fundos podem ser de condomínio aberto, quando o investidor tem a possibilidade de resgatar suas cotas em qualquer momento, ou fechado, quando o resgate ocorre apenas no final do prazo de existência do fundo (MACHADO, 2017).

Existem diferentes categorias de fundos de investimentos. Fundos de Curto Prazo aplicam em títulos públicos federais (TPF) ou privados de curto prazo com baixo risco de crédito. Fundos Referenciados têm o propósito de seguir a oscilação de um determinado indicador de desempenho. Fundos de Renda Fixa devem ter no mínimo 80% de seu patrimônio aplicado em renda fixa. Fundos de Ações devem possuir pelo menos 67% de ações aceitas à negociação em mercado de bolsa ou balcão organizado ou em outros ativos associados. Fundos Multimercado podem investir em diferentes mercados (MACHADO, 2017).

## 2.2 RISCO

O risco pode ser compreendido como a possibilidade de ocorrência na qual o administrador das decisões terá suporte probabilístico para inferir um determinado comportamento, estando habilitado a realizar escolhas com base em um conjunto de percepções históricas, a fim de amenizar perdas ou acrescentar vantagens competitivas. Relacionado ao conceito de risco, tem-se a definição de incerteza, que diz respeito a possibilidade de ocorrência na qual o administrador das decisões não

tem informações para deduzir a possibilidade decorrente das oportunidades, auxiliando a tomada de decisões conforme as informações de suporte pessoal (RODRIGUES, 2008).

Alguns tipos de risco devem ser considerados na avaliação de um RPPS. O risco de mercado, por exemplo, está ligado ao montante de bens e direitos da entidade e corresponde a hipótese de ganhos ou perdas quando há transação desses ativos ou em consequência da volatilidade de preços em mercados específicos. O risco de liquidez é a capacidade de honrar os pagamentos correntes sem realizar a venda de ativos com registro de prejuízo. O risco de crédito resulta da incapacidade de honrar uma obrigação contratual. O risco operacional pode ser dividido em risco tecnológico, humano, de modelagem e de regulação. O risco moral pode levar o administrador de recursos a atuar conforme seus próprios interesses. O risco institucional diz respeito às práticas do patrocinador e do Fundo de Pensão, que colaboram para gerar volatilidade nos ativos. O risco biométrico refere-se à hipótese de não se concretizar as premissas assumidas pelo atuário para eventos como invalidez, mortalidade e morbidez dos participantes (RODRIGUES, 2008).

### 2.3 GESTÃO FINANCEIRA DE ATIVOS DE RENDA FIXA E RENDA VARIÁVEL

Um título de renda fixa é conhecido no momento que todos os rendimentos ofertados ao seu titular são estabelecidos no momento da aplicação. As aplicações em renda fixa podem ser prefixadas, quando os juros totais são determinados para todo o tempo do investimento com independência da movimentação na economia, ou pós-fixadas, quando apenas uma fração dos juros é fixa com a outra parte indexada a um índice de preços contratado. As aplicações mais conhecidas de renda fixa comercializadas no Brasil são os Certificados de Depósito Bancário (CDB), Títulos Públicos, Debêntures, Fundos de Investimentos de Renda Fixa, entre outros. As variações nas taxas de juros é um fator de risco essencial nos investimentos em renda fixa (LIMA, 2015)

Rodrigues (2008) relaciona a gestão de estoque de capitais com a gestão do fluxo líquido de capitais, sendo que na gestão de estoque de planos por benefício definido será indispensável preservar uma quantidade de ativos (ativo líquido) capaz de fazer frente ao passivo previdencial estabelecido de modo atuarial. Já para a gestão do fluxo líquido será necessário preservar ao longo dos anos de pagamentos de benefícios a competência de cumprir os compromissos correntes. Logo, a gestão

de estoque de capitais precisa acompanhar a liquidez necessária para conservar a solvência financeira do plano de benefícios.

Sendo assim, faz-se necessário examinar constantemente a relação dos ganhos de investimentos com a manutenção do estoque de capital e com os fluxos necessários ao pagamento dos benefícios correntes, a fim de assegurar a solvência dos planos de benefícios definidos (RODRIGUES, 2008).

Com o propósito de conhecer as carteiras de investimentos dos RPPSs no Brasil, Machado (2017) utilizou as informações de relatórios declarados por 1684 RPPS contendo suas carteiras de investimentos correspondente a dezembro de 2017. O autor concluiu que pouco mais de 90% de todo capital declarado estava concentrado em ativos de renda fixa. No tocante aos fundos de investimentos, verificou-se que pouco mais de 94% do capital estava concentrado em renda fixa, 4,43% em fundos de ações e 1,38% em fundos multimercado. Verificou também que mais de 80% do capital dos RPPS estavam sendo administrados por fundos dos dois maiores bancos do país.

De acordo com a Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais (Anbima), o valor total de ativos dos fundos de investimentos oferecidos ao RPPS era de aproximadamente R\$ 138 bilhões em Julho de 2018, distribuídos entre 18 administradores com destaque para o Banco do Brasil e a Caixa Econômica, detentores de aproximadamente 39% e 47%, respectivamente, de participação. O Fundo de investimento do Banco do Brasil em julho de 2018 tinha 4,6% do valor total de ativos investidos em renda variável, enquanto o da Caixa possuía aproximadamente 6%.

## 2.4 GESTÃO ATUARIAL DOS RPPS

As premissas atuariais correspondem a um conjunto formal de pressupostos para hipóteses que o atuário espera que se concretize num certo intervalo de tempo, com um bom grau de segurança. O diálogo e a decisão das premissas atuariais propõem o distanciamento do trilha exato dos modelos matemáticos, caminhado pelo universo subjetivo das decisões racionais. Conforme o modelo de avaliação atuarial assumido, as premissas atuariais são componentes de cenários adotados para calcular os encargos e as receitas previdenciárias (RODRIGUES, 2008).

Déficit ou superávit técnico podem ser causados pelo uso de premissas atuariais inadequadas com a realidade que estão sujeitos os participantes, a

patrocinadora e a entidade, como também a exposição ou subexposição aos riscos quando a verdadeira necessidade mostre o oposto. As premissas atuariais podem ser divididas em: econômicas (taxa de inflação de longo prazo, ganho real dos investimentos etc.); biométricas (mortalidade de válidos e inválidos, rotatividade etc.); e genéricas (idade presumida de aposentadoria e de entrada no emprego etc.) (RODRIGUES, 2008).

Segundo a portaria MPS 403/2008 o RPPS pode utilizar três regimes financeiros de financiamentos: Regime Financeiro de Capitalização (RC), de Repartição de Capitais de Cobertura (RCC) e de Repartição Simples (RS). O RC é o regime onde as contribuições mais os rendimentos devem ser suficientes para gerar uma reserva capaz de garantir os pagamentos futuros e a taxa de administração e será aplicado em aposentadorias programadas e pensões por morte de aposentado. O RCC é o regime onde as contribuições em um período específico devem ser suficientes para criar uma reserva matemática para os benefícios iniciados por ocorrências nesse mesmo período e será aplicado em benefícios não programáveis de aposentadoria por invalidez e pensão por morte de segurados em atividade. O RS é o regime onde as contribuições em um período específico devem ser suficientes para o pagamento dos benefícios desse mesmo período e será aplicado para os benefícios de auxílio-doença, salário-maternidade, auxílio-reclusão e salário-família.

Do ponto de vista do Regime de Capitalização, existem diversos métodos de financiamentos a fim de mensurar as provisões matemáticas com o objetivo de garantir os compromissos assumidos pelo patrocinador com os participantes, os principais são: método do crédito unitário (CUN); método do crédito unitário projetado (CUP); método da idade normal de entrada (IEN); e o método agregado (AGR). O método CUN presume que o benefício a ser concedido no ano de aposentadoria está atrelado aos anos trabalhados e o CUP diferencia pelo fato de levar em conta o crescimento salarial considerado ao longo da fase ativa do participante. O método IEN presume uma idade inicial de ingresso no plano, e assim é estimado o custo normal individual de modo a ser nivelado durante a vida ativa, com o propósito de assumir os benefícios de aposentadoria. O método AGR determina a taxa de contribuição em uma estrutura coletiva (CHAN; SILVA, MARTINS, 2010). De acordo com a portaria MPS 403/2008, para o regime financeiro

de capitalização, o método de financiamento CUP será utilizado para o cálculo do custo normal.

O Fluxo de Caixa Atuarial é constituído pelas entradas e saídas monetárias projetadas resultantes das contribuições dos participantes e patrocinadores e dos benefícios pagos aos assistidos, enquanto a reserva matemática (RM) representa a diferença do valor atual dos benefícios futuros (VABF) com o valor atual das contribuições futuras (VACF) (SILVA, 2015).

Diferentemente da matemática financeira tradicional, a matemática atuarial precisa considerar fluxos de caixa incertos pois no instante da avaliação o fluxo de caixa atuarial não é sabido, e assim, o atuário necessita possuir uma metodologia para projetar os benefícios e as contribuições futuras (AMARAL, 2010).

## 2.5 MODELO ASSET LIABILITY MANAGEMENT (ALM)

Um fundo de pensão tem três meios de custeio: a rentabilidade da carteira de ativos; as contribuições regulares dos participantes e da patrocinadora; e as contribuições extraordinárias. Este fundo precisa decidir regularmente como alocar seus recursos nas diferentes categorias de ativos e examinar qual será a taxa de contribuição, a fim de garantir suas obrigações. Essa metodologia de decisão é conhecida como Asset Liability Management (ALM) ou gerenciamento de ativos e passivos (VARANIS, 2014).

Valladão (2008) define ALM como sendo

um processo contínuo de formulação, implementação, monitoramento e revisão das estratégias relacionadas com ativos, investimentos futuros e passivos para atingir os objetivos financeiros, necessidades de caixa e requisitos de capital dado a aversão ao risco da organização e outras restrições.

Conhecida a posição financeira ao término de um ano e existindo a possibilidade de ajustes nas expectativas, o gestor do fundo precisa tomar algumas decisões. Caso a solvência atinja um grau elevado, o fundo pode cogitar aumentar a participação em ativos com o retorno esperado maior ou reduzir a taxa de contribuição. A técnica de otimização em que os fatores de decisão são adaptados em diferentes períodos de decisão e de incerteza é chamado de Programação Estocástica de vários estágios. Árvores de cenários são aplicadas construindo

diferentes cenários futuros de componentes aleatórios, como o retorno sobre os ativos e inflação (VARANIS, 2014).

A técnica de Programação Estocástica possibilita a admissão de informações no decorrer do tempo e múltiplos estágios de decisão. No caso de aplicação financeira, os estágios de decisão são períodos onde o gestor pode modificar a participação de ativos na carteira de acordo com as informações disponíveis em relação ao retorno dos ativos (KEISER, 2007).

Keiser (2007) realizou uma pesquisa com 35 Entidades Fechadas de Previdência Complementar (EFPC) e verificou que em 2006, 80% dos fundos de pensão da amostra utilizaram o modelo Var e 74% utilizaram o modelo ALM, sendo esses os modelos mais utilizados. Vale destacar que, de acordo com a pesquisa, o modelo ALM apresentava em 2003, 2004 e 2005, respectivamente, 46%, 51% e 57% de utilização, ou seja, sua importância tem sido considerada nesse contexto.

A gestão de ativos e passivos (ALM) deve reconhecer todos os riscos envolvidos, calcular o impacto causado nas carteiras e administrá-los com eficiência; deve-se organizar de maneira que prevaleça uma política de prevenção e de tratamento eficaz de riscos; deve garantir que os sistemas de controle e os ativos envolvidos se adéquem às características e à complexidade dos riscos (MELO, 2015).

Os modelos de programação estocástica proporcionam a escolha de soluções ótimas em situações abrangendo incertezas. Como as variáveis financeiras e atuariais são aleatórias, a opção por essa abordagem oferece mais realismo à formulação assumida (NASCIMENTO, 2012).

Um método ALM deve amparar o administrador do fundo de pensão no planejamento estratégico evitando que políticas de curto prazo comprometam os objetivos de longo prazo. Permite examinar com exatidão a distribuição de ativos em várias categorias levando em conta as obrigações atuariais e verificar a possibilidade de descasamentos entre ativos e passivos. Processos estocásticos das variáveis econômicas e do passivo atuarial são elaborados para em seguida avaliar a relação risco e retorno, considerando as restrições legais, de liquidez e da diversificação de ativos (PELLICIOLI, 2011).

O método ALM tem o objetivo de melhorar a alocação de ativos no caso de existir limitações impostas pelos passivos assumidos, ou qualquer limitação que impossibilite algumas participações de alocação (MARQUES, 2011).

Marques (2011) cita algumas restrições sujeitas à otimização de carteiras de investimentos que devem ser consideradas para a obtenção de carteiras ótimas:

- ✓ Os compromissos assumidos resultantes dos passivos, normalmente, se desdobram no decorrer do tempo em vencimentos distintos.
- ✓ Diante da necessidade de efetuar a venda, ativos com pouca liquidez podem possuir custos de transação ocasionando uma perda em sua rentabilidade esperada.
- ✓ As limitações impostas podem determinar a existência de certos ativos em dimensões menores em comparação com a alocação obtida de carteira ótima calculada sem essas limitações.

No tocante à microalocação dos recursos, os modelos de otimização de carteiras fundamentadas nas técnicas de imunização de carteiras e na teoria de média variância permanecem úteis para as atividades de gestão de portfólios de investimentos. No que tange às soluções dos problemas de macroalocação de recursos, a recomendação por parte da literatura para o emprego de algoritmos de programação estocástica tem evoluído (MARQUES, 2011).

Diante do exposto, deve levar em conta a relação de alocação estratégica com alocação tática. A alocação estratégica diz respeito ao longo prazo e estabelece a alocação de ativos conforme as obrigações da entidade. A alocação tática é realizada no curto prazo e suas decisões são adequadas de acordo com as oportunidades de mercado, e pode-se entendê-la como uma adequação da alocação estratégica (KEISER, 2007).

Abaixo serão apresentadas algumas pesquisas anteriores referentes à aplicação do método ALM. Apesar do presente trabalho tratar de sua aplicação em RPPS, ressalta-se que a maior parte dos estudos abaixo citados foi desenvolvido em fundos de pensão, uma vez que esse método é mais analisado nessas entidades.

Valladão (2008) apresenta um modelo de programação estocástica multiestágio executado ao ALM de um fundo de pensão (previdência privada) com o propósito de buscar uma alocação ótima para o fundo e mensurar a sua probabilidade de insolvência. Após obter a carteira ótima, a técnica *bootstrap* foi aplicada a fim de encontrar a distribuição da rentabilidade real da carteira tornando possível mensurar o risco de equilíbrio do fundo por meio da distribuição da probabilidade de insolvência. Provou-se que a probabilidade de insolvência calculada teve um significativo avanço em comparação com a probabilidade de

*underfunding* que é utilizada por outros modelos na literatura. Concluiu-se que a limitação máxima de 50% de renda variável é bem limitada para os fundos de pensão, pois em um cenário de queda de juros essa restrição impedirá o fundo de aplicar em ativos com um risco maior e obter maiores retornos.

Hurtado (2008) apresentou as principais metodologias de ALM a fim de analisá-las e compará-las. Os resultados foram encontrados através do desenvolvimento de uma carteira de obrigações imunizadas (COI). Concluiu-se que se existir excedente de superávits, o administrador tem que expandir sua cota em renda fixa, caso contrário, se há excedente de déficits, o administrador tem que expandir sua cota em renda variável.

Pellicoli (2011) utiliza o modelo *Cash-Flow-Matching* na ALM com o propósito de recomendar a alocação de recursos em renda fixa verificando uma simulação do fluxo do passivo atuarial. Concluiu-se que seja qual for o modelo ALM empregado em uma EFPC, é importante ter sinergia entre a gestão atuarial e de investimentos, como também o crescimento da qualificação dos gestores de fundos de pensão com o propósito de controlar os riscos.

Nascimento (2012) tratou sobre a gestão de um fundo de pensão do tipo de benefício definido com o propósito de modelar a ocorrência de eventos de desequilíbrios nos fundos de pensão abordando a relação de causa e efeito entre ativo e passivo considerando não só os pagamentos dos benefícios assumidos, como também preservar a liquidez e o equilíbrio atuarial durante o período de planejamento. O problema ALM assumido foi o de classe estratégica, o que interessa é a classe que o ativo pertence, e foi solucionado utilizando um modelo de programação inteira que tem a finalidade de contar a quantidade de ocorrências de um evento específico.

Varanis (2014) utiliza um modelo fundamentado na programação estocástica multiestágios inteira mista para solucionar problemas de ALM. Apresentou como característica nova a modelagem flexível da taxa de contribuição depois de diversos momentos de déficit.

Ribeiro (2015) utiliza um modelo ALM por meio de otimização estocástica com limitações probabilísticas em dois estágios, executado em um plano de previdência tradicional aberto. Considerou os investimentos somente em títulos públicos do tesouro nacional. Ao comparar o modelo aplicado com uma versão

determinística, conclui-se que o modelo assumido não resultou em portfólios insolventes, ao contrário da versão determinística.

## 2.6 ALGORITMOS GENÉTICOS

O algoritmo genético é uma metodologia heurística que tem o propósito de otimizar funções e é embasado pelo princípio de seleção natural e pela sobrevivência do mais apto. O processo do algoritmo é apresentado como um processo biológico. Cada iteração (geração) do algoritmo examina um grupo de sugestões de solução, denominada população. Os integrantes da população mais competentes produzem pais (soluções experimentais adotadas aos pares) que se combinam (por crossover) e produzem filhos (novas soluções experimentais), os quais são reproduções levemente transformadas dos pais e que, ocasionalmente, passam por mutações que os deixam não muito diferenciados (AMARAL, 2010).

É fundamentado na teoria da evolução de Darwin (1985), na qual os membros de uma população se amoldam melhor ao meio em que convivem, têm uma possibilidade maior de sobrevivência e reprodução, ao passo que aqueles menos adaptados normalmente são extintos. Boas qualidades de indivíduos geram descendentes cada vez mais amoldados ao meio. Um AG simula o método de evolução natural a começar de uma população de soluções iniciais, por meio da execução de operadores genéticos de reprodução e mutação nesses indivíduos. Quanto a otimização, cada membro da população é uma solução codificada, composta por um grupo de genes, denominado de cromossomo. Logo, cada cromossomo configura uma possibilidade de solução para um determinado problema. A aptidão (ou *fitness*) do indivíduo é encontrada através de uma certa função objetivo. Membros com boa aptidão apresentarão uma possibilidade maior de serem escolhidos para reprodução (normalmente denominada de *crossover*, ou cruzamento). Nesse processo de reprodução, dois cromossomos (dos pais) são escolhidos, e em seguida é realizada a combinação de seus genes, gerando cromossomos filhos (2 filhos) que carregam uma porção cromossômica de cada um dos pais (MARÇAL, 2011).

Amaral (2010) utilizou técnicas de pesquisa operacional na ALM para minimizar a probabilidade de inadimplência. O trabalho examinou a respeito de que modo as alterações na política de contribuição, reavaliações recorrentes na composição da carteira, decisões do intervalo de tempo para estimar os parâmetros

e o estágio de capitalização da EFPC afetam no desenho da alocação dos ativos do fundo. Concluiu-se que a utilização de Algoritmos Genéticos na gestão de ativos e passivos se apresenta como uma boa metodologia para a seleção de carteira que minimiza a probabilidade de inadimplência.

## 2 METODOLOGIA

### 3.1 BASE CADASTRAL

A apuração da alocação ótima por meio da ALM submete-se às características dos participantes do fundo. Foi utilizada a base cadastral do Instituto de Previdência dos Servidores Municipais de Cabedelo (IPSEMC). De acordo com a Lei 1412/2008 do município de Cabedelo, os servidores terão que observar as regras de aposentadoria dispostas na Tabela 3.

Tabela 3: Regras de aposentadoria do IPSEMC

Tipo de Aposentadoria	Tempo mínimo de efetivo exercício público	Tempo mínimo no cargo	Tempo de contribuição		Idade	
			F	M		
Aposentadoria por Idade	10 anos	05 anos	proporcional	proporcional	60	65
Aposentadoria por Contribuição	10 anos	05 anos	30 anos	35 anos	55	60
Aposentadoria Compulsória	-	-	-	-	70	70

Fonte: Lei 1412/2008 de Cabedelo. Os requisitos de idade e tempo de contribuição são reduzidos de 05 anos para os professores, exceto para aposentadoria compulsória.

Considerou-se para este trabalho somente as condições de aposentadoria citadas anteriormente, porém não foi realizada a distinção entre professores e não professores. As pessoas que têm o direito de se aposentar imediatamente, mas continuam na ativa, foram consideradas aposentadas no final do primeiro ano. Os motivos que geram múltiplos decrementos (invalidez, rotatividade, entre outros) não foram levados em conta.

### 3.2 PREMISSAS E PASSIVOS ATUARIAIS

A execução de métodos e modelos para a alocação de ativos para fundo de pensão possui como propósito principal a efetivação das metas atuariais do passivo e o compromisso de pagamento dos benefícios assumidos pela entidade. Como os fundos de pensão não possuem o controle direto de seus desembolsos, os fluxos do passivo são utilizados somente como causas de risco na decisão da política de investimentos (VALLADÃO, 2008).

As premissas financeiras assumidas foram as constantes no DRAA 2018 do IPSEMC. A projeção da taxa de juros real foi de 6% ao ano para o exercício. A projeção real do salário foi de 1% ao ano. As projeções de crescimento real dos benefícios do plano e a taxa de inflação de longo prazo foram de 0%. Os fatores de

determinação do valor real ao longo do tempo dos benefícios e dos salários foram de 100%.

Conforme a DRAA 2018 do IPSEMC, utilizou-se a tábua do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2016 para ambos os sexos. As contribuições repassadas ao IPSEMC são de 23,50%, segmentada em 11% para os servidores e 12,50% para o município, sendo que 2% desses são para custear as despesas administrativas, porém neste trabalho foi encontrada a alíquota referente às aposentadorias consideradas para os servidores ativos e os aposentados que superam o teto do INSS.

O regime Financeiro de capitalização adotado foi o de crédito unitário projetado, sendo mensurado individualmente a partir da idade de entrada no serviço público até o momento da aposentadoria. De acordo com a Lei 1412/2008 o benefício de aposentadoria ( $B_r$ ) é calculado pela média aritmética simples referente aos 80% das maiores remunerações consideradas como base para a contribuição respeitando os limites mínimo, o salário mínimo, e máximo, o teto do salário de contribuição do RGPS. Por não ter o histórico dos salários de contribuição, o  $B_r$  foi encontrado levando em conta o crescimento salarial adotado.

Os passivos atuariais foram calculados de maneira determinística. Seguem as formulações para o cálculo do VABF, do VACF e da RM:

$$VABF_x = B_r \cdot {}_{r-x}E_x \cdot \ddot{a}^{(12)}_r \quad (1)$$

Sendo:

$B_r$  = benefício acumulado até a idade de aposentadoria  $r$

${}_{r-x}E_x$  = a multiplicação da probabilidade de sobreviver da idade  $x$  até a idade de aposentadoria  $r$  pelo fator de descapitalização

$\ddot{a}^{(12)}_r$  = a anuidade fracionária antecipada vitalícia a partir da idade de aposentadoria

$x$  = a idade atual do participante

$r$  = a idade de aposentadoria

$$VACF = \sum CN(r-x) \quad (2)$$

Sendo:

CN (custo normal) = VABF dividido pelo tempo total de contribuição de cada indivíduo

r-x = o tempo de contribuição da idade atual até a aposentadoria

Obs: A alíquota referente ao plano de amortização do déficit atuarial não será considerada para o cálculo do fluxo atuarial

$$RM = VABF - VACF \quad (3)$$

O cálculo mensal do reserva matemática mensal foi efetuado da seguinte maneira:

$$RM_{0+m} = RM_0 + m \cdot \frac{RM_{12} - RM_0}{12} \quad (4)$$

m = mês

O Fluxo de caixa financeiro foi calculado pela diferença das contribuições pelos benefícios pagos aos aposentados, não foi levado em conta os pensionistas.

## 2.4 RETORNO ESPERADO DOS ATIVOS

Amaral (2010) sugere considerar ativos individuais como variáveis de decisão, no lugar de classes de ativos. Neste trabalho, foram analisados cinco fundos com alta liquidez (pagamento de resgate de no máximo três dias), sendo três de renda fixa, o primeiro constituído de TPF em índices de mercado de renda fixa, o segundo fundo de renda fixa foi referenciado a índices de renda fixa não atrelado à taxa de juros de um dia e o terceiro fundo de renda fixa e índice de renda fixa, um fundo de renda variável e um fundo multimercado aberto sem alavancagem. O período analisado para os retornos foi mensal de janeiro de 2008 até dezembro de 2018. Os dados foram coletados no site: [www.simuladordecarteiras.com.br](http://www.simuladordecarteiras.com.br)

Tabela 4: Informações dos fundos de investimento escolhidos

Fundo	Unidade gestora	CNPJ	Limite de aplicação	Pagamento do resgate
Renda Fixa TPF	Banco do Nordeste do Brasil	08.266.261/0001-60	100%	D+1
Renda Fixa Ref. Índ.	BB Gestão de recursos	07.861.554/0001-22	60%	D+1
Renda Fixa e Índice	Caixa Econômica Federal	03.737.206/0001-97	40%	D+0
Ações	XP Gestão de recursos	07.152.170/0001-30	20%	D+3
Multimercado	Caixa Econômica Federal	08.070.841/0001-87	10%	D+3

Nota: Para os fundos de Renda fixa foi levado em conta o limite de aplicação por ativo, desconsiderando o limite de aplicação por fundo, conforme a resolução CMN n° 3.922/10.

Aplicou-se a técnica de Monte Carlo para encontrar o retorno esperado dos ativos. Assim como propõe Amaral (2010), a distribuição adotada para a previsão foi uma normal multivariada. Foram simulados 1000 cenários aleatórios para cada ativo considerado. Segue a formulação para os retornos:

$$R_i = \mu_i + \sigma_i z_{it}, \forall i = 1,2,3,4,5 \text{ (ativo)} \quad (5)$$

onde,

$z_{it}$  se distribui conforme uma normal padrão, ou seja,  $N(0,1)$ .

Conforme Amaral (2010), o vetor aleatório  $z_t$  é encontrado por  $z_t = u_t T$  no qual o vetor  $u_t \sim N(0,1)$ ,  $T$  a matriz triangular inferior é calculada pela decomposição de Cholesky da matriz de correlações  $R = TT'$ , e o elemento  $R_{i,j}$  da matriz de correlação dado por  $R_{i,j} = \Sigma_{i,j} / (\sigma_i \sigma_j)$ .

## 2.5 MODELO DE ALM

Amaral (2010) utilizou como função objetivo a minimização da probabilidade de ocorrência de inadimplência, pois, segundo ele, a EFPC não possui finalidade lucrativa e seu objetivo primordial é cumprir os acordos assumidos em seu plano de benefícios. Como o RPPS possui essa mesma finalidade, a função objetivo utilizada foi a de minimização da probabilidade de ocorrência de inadimplência ou insolvência.

A insolvência ocorre quando o valor dos ativos é menor que o valor dos passivos em qualquer período. Utilizando a fórmula, considerada por Amaral (2010), adaptada ao RPPS, temos que  $S_t$  corresponde ao valor dos ativos descontados dos

pagamentos dos passivos no momento  $t$ . A probabilidade de insolvência *insol* estabelecida foi:

$$\begin{aligned} & \text{Insol } 1, \text{ se } S_t < 0 \text{ (para algum } t / t = 1, 2, \dots, 12) \\ & 0, \text{ caso contrário} \end{aligned} \quad (6)$$

Os valores dos ativos são calculados derivados do valor dos ativos no mês anterior ( $A_{t-1}$ ), da rentabilidade ( $R_t$ ) e do fluxo de caixa financeiro ( $FC_t$ ). Segue a formulação para o cálculo dos ativos:

$$A_t = A_{t-1} * (1+R_t) + FC_t \quad (7)$$

A restrição máxima de alocação em cada ativo será determinada conforme as limitações dispostas na resolução CMN nº 3.922/10. Segue a formulação da restrição regulatória apresentada por Valladão (2008), adaptada conforme as classificações de ativos assumidos neste trabalho e de acordo com a lei aplicada aos RPPS:

$$ai(m) \leq \sum_{i=1}^5 mai_i \cdot ai(m), \forall m = 0, \dots, 12 \quad (8)$$

Sendo que,

$ai(m)$  = valor do ativo alocado no mês

$mai$  = limite máximo de alocação

## 2.6 SELEÇÃO DAS CARTEIRAS

A seleção de uma carteira otimizada foi obtida através de um algoritmo genético com o mínimo e o máximo de alocação para cada ativo conforme a legislação. Inicialmente, o número de iterações foi de 20 e o número da população 2000. Algumas carteiras sem alteração de peso foram aplicadas no ALM a fim de comparação.

Após a análise da comparação obteve-se mais algumas carteiras, alterando os limites de aplicação, através do algoritmo genético e o número da população foi alterado de 2000 para 1000, devido ao tempo operacional. O somatório dos pesos da carteira encontrada pelo algoritmo genético nem sempre chega a 100% em cada

mês, sendo assim, nos meses no quais isso ocorreu, foi efetuada uma distribuição entre os ativos referente ao peso que falta, a fim de que todo o ativo esteja investido.

#### 4 RESULTADOS

É importante destacar que a obtenção de uma alocação otimizada, no que diz respeito à minimização da probabilidade de insolvência ou à maximização da rentabilidade dos ativos financeiros do RPPS, através da ALM, depende das características dos participantes do fundo. Conforme a Demonstração de Resultados da Avaliação Atuarial (DRAA) de 2018, a tabela 5 apresenta as estatísticas dos servidores municipais de Cabedelo.

Tabela 5: Estatísticas dos servidores municipais de Cabedelo

População Coberta	Feminino	Masculino	Idade média	
			F	M
Ativos - sem critério diferenciado	982	531	45	45
Ativos - Professores	420	88	46	48
Aposentados	314	71	64	66
Pensionistas	47	19	57	59
<b>Total</b>	<b>1763</b>	<b>709</b>		

Fonte: DRAA 2018 do IPSEMC

A base de dados do IPSEMC é formada por 2021 servidores ativos, 385 aposentados e 66 pensionistas, totalizando 2472 participantes com a idade média de 49 anos, sendo que os ativos que se aposentam sem critério diferenciado possuem uma idade média de 45 anos, os ativos professores aproximadamente 46, os aposentados 64 e os pensionistas 58 anos. Vale destacar que do total dos participantes aproximadamente 71% é mulher, e se levarmos em consideração apenas professores, esse percentual sobe para aproximadamente 83%, isso causa um impacto no fluxo atuarial do plano, pois as mulheres possuem uma longevidade maior, além de contribuir por um período menor. A relação de ativos com o somatório de aposentados e pensionistas é de 4,48 e a percentagem de aposentados e pensionistas em relação ao total de servidores é de aproximadamente 16%, mas conforme as projeções demográficas, a tendência é que essa relação diminua e a percentagem aumente.

As tabelas de 6 a 8 apresentam os resultados para o passivo atuarial. A 6 exibi as informações referentes à folha mensal e à remuneração média dos ativos, aposentados e pensionistas.

Tabela 6: Folha mensal e remuneração média dos servidores municipais de Cabedelo

Discriminação	Folha mensal	Quantidade	Remuneração média	Idade média
Ativos	R\$5.033.381,60	2021	R\$2.490,54	46
Aposentados Normais	R\$873.572,86	311	R\$2.808,92	66
Aposentados por invalidez	R\$156.366,37	74	R\$2.113,06	59
Pensionistas	R\$120.188	66	R\$1.821,03	57
<b>Total</b>	<b>R\$6.183.508,90</b>	<b>2472</b>	<b>R\$2.501,42</b>	<b>49</b>

Fonte: DRAA 2018 do IPSEMC

Ressalta-se o valor de R\$ 5.033.381,60 relativo à folha mensal dos ativos, de onde incide a principal fonte de receita. Em seguida, são apresentados o fluxo de caixa financeiro mensal e uma tabela informando a reserva matemática e o retorno esperado para obter o equilíbrio atuarial.

Tabela 7: Fluxo de caixa financeiro mensal

Benefício	contribuição	Resultado
984.717,26	909.913,37	- 74.803,89

Fonte: dados da pesquisa (2019)

Tabela 8: Reserva matemática e retorno necessário para o equilíbrio atuarial

Mês	RM	RM <sub>x+1</sub> - Fluxo de caixa	Retorno mensal	Retorno acumulado
0	270.530.000,27	273.025.415,69	0,92%	0,92%
1	272.950.611,79	275.446.027,21	0,91%	1,85%
2	275.371.223,31	277.866.638,73	0,91%	2,77%
3	277.791.834,84	280.287.250,25	0,90%	3,69%
4	280.212.446,36	282.707.861,78	0,89%	4,61%
5	282.633.057,88	285.128.473,30	0,88%	5,54%
6	285.053.669,41	287.549.084,82	0,88%	6,46%
7	287.474.280,93	289.969.696,35	0,87%	7,39%
8	289.894.892,45	292.390.307,87	0,86%	8,31%
9	292.315.503,98	294.810.919,39	0,85%	9,24%
10	294.736.115,50	297.231.530,92	0,85%	10,16%
11	297.156.727,02	299.652.142,44	0,84%	11,09%
12	299.577.338,55			

Fonte: dados da pesquisa (2019)

Os benefícios pagos aos aposentados, considerados neste trabalho, equivalem à aproximadamente 19,6% da folha salarial mensal e a alíquota encontrada referente à relação das contribuições pela soma da folha mensal mais os valores dos benefícios que superam o teto do INSS foram de 17,78%. Destaca-se que a reserva matemática teve um crescimento no ano de aproximadamente 10,74%, mas a alíquota necessária para o equilíbrio atuarial foi de 11,09% ao ano, esse aumento ocorreu por conta do resultado negativo do fluxo financeiro.

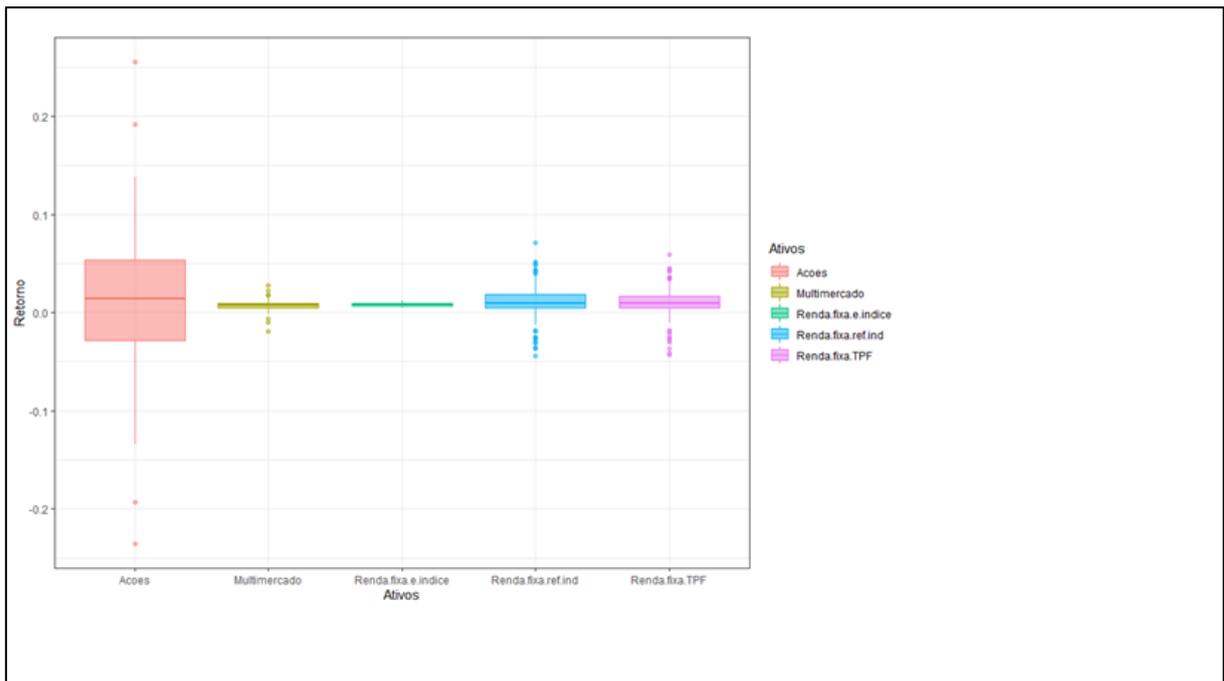
A Tabela 9 contém as estatísticas descritivas referentes aos retornos dos fundos de investimentos e a Figura 1 exibi o box-plot.

Tabela 9: Estatística descritiva do retorno dos fundos de investimento

Ativos	Mínimo	Q25	Média	Mediana	Q75	Máximo	Desvio padrão
Ações	-0,236	-0,0279	0,0123	0,0136	0,0538	0,255	0,0674
Multimercado	-0,0192	0,005	0,00736	0,0072	0,0096	0,0276	0,00517
Renda fixa e índice	0,0044	0,00682	0,00828	0,0084	0,00973	0,0121	0,00197
Renda fixa ref. Ind.	-0,0439	0,00442	0,0099	0,00955	0,0184	0,0709	0,0177
Renda fixa TPF	-0,0427	0,00458	0,00917	0,0092	0,0163	0,059	0,016

Fonte: Dados de pesquisa 2019

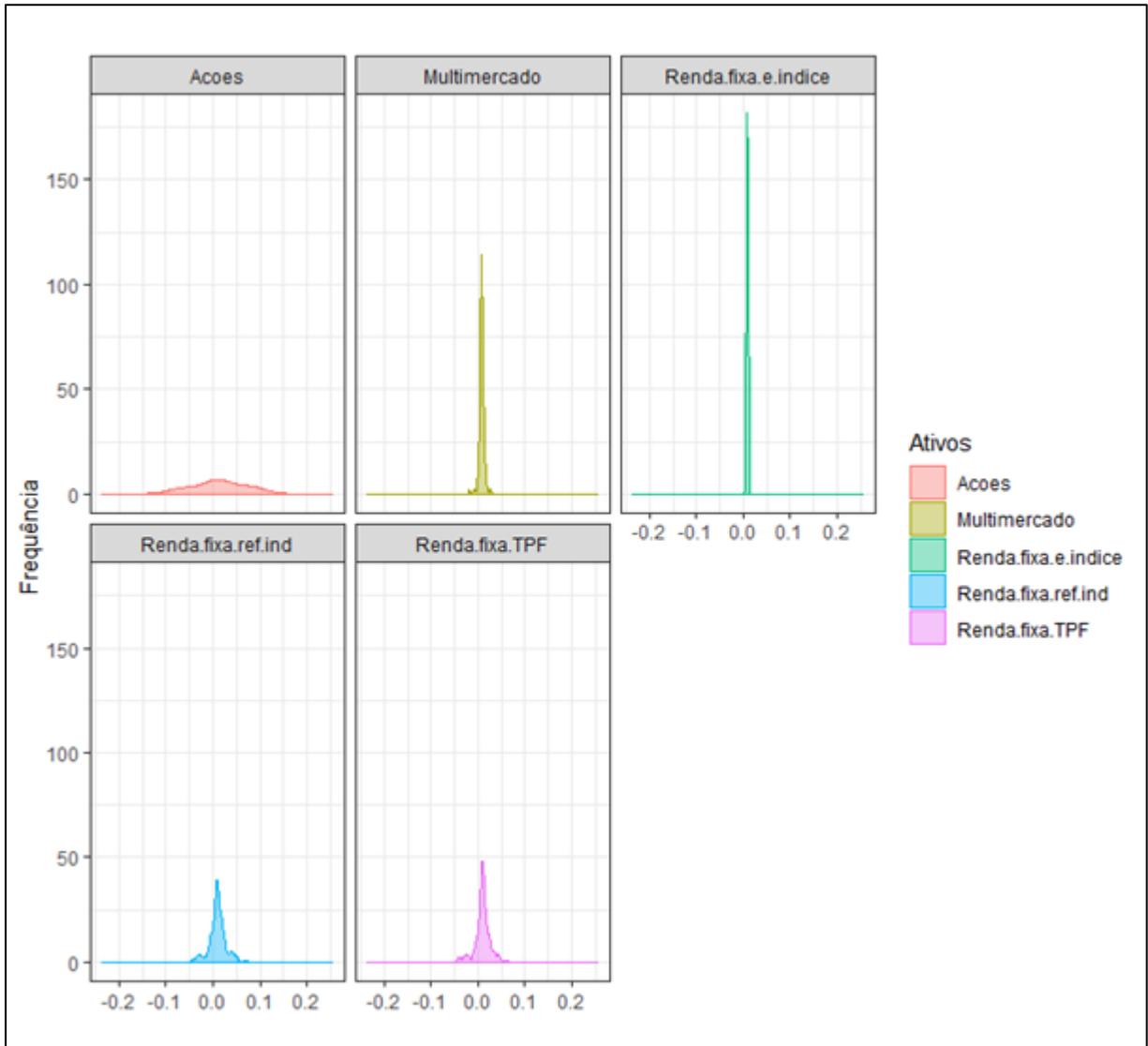
Figura 1: Box plot do retorno dos fundos



Fonte: Dados de pesquisa 2019

Observa-se, através das estatísticas descritivas que o retorno do fundo de ações possui uma maior variabilidade, como também a maior média e mediana. Em contrapartida, o fundo de Renda.fixa.e.índice possui a menor variabilidade e o de multimercado a menor média e mediana. A seguir é apresentada a densidade do retorno dos fundos.

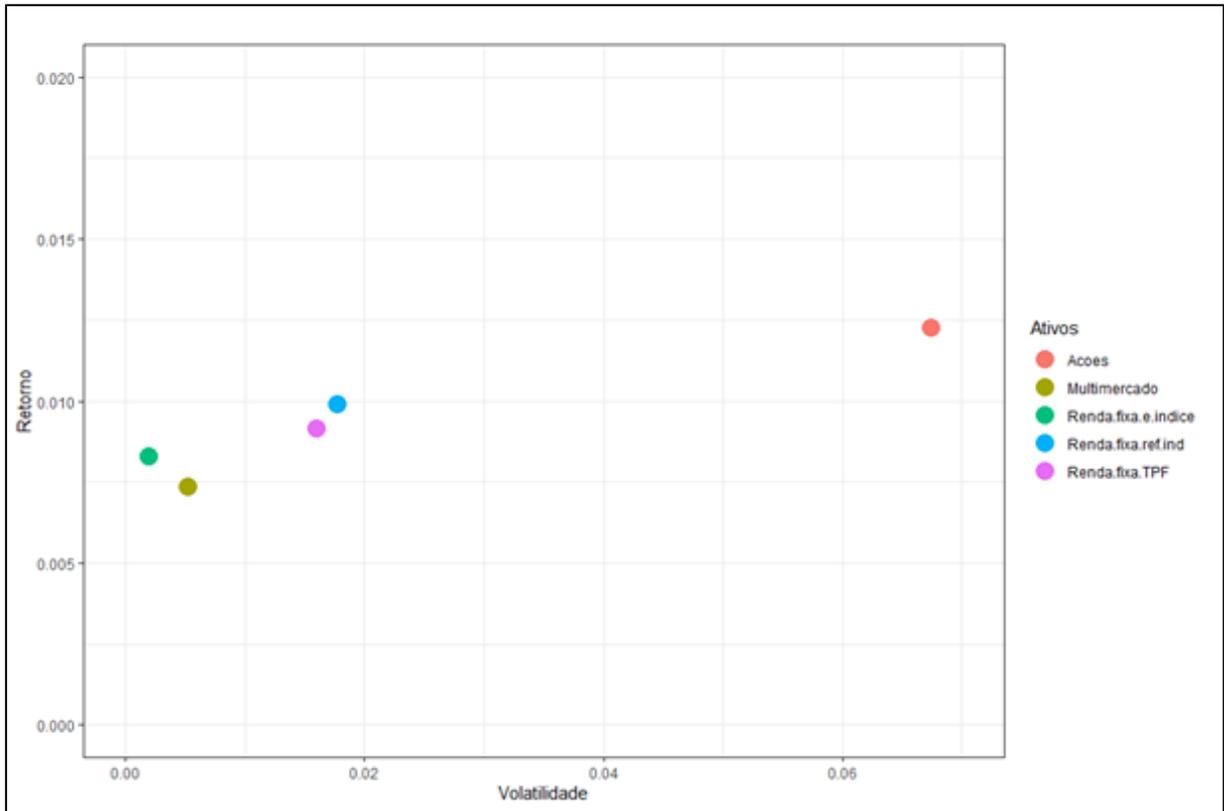
Figura 2: Densidade do retorno dos fundos



Fonte: Dados de pesquisa 2019

Percebe-se por meio da figura de densidade dos retornos que há indícios de que os retornos dos fundos aparentemente se comportam como uma distribuição normal, e que precisaria ser verificada por meio de testes, além de realçar a maior variabilidade do fundo de ações e a menor do fundo de Renda.fixa.e.índice. A Figura 3 mostra a relação de risco e retorno.

Figura 3: Risco e retorno dos retornos dos fundos



Fonte: Dados da pesquisa 2019

Destaca-se por meio da visualização da Figura 3 que o fundo multimercado possui um risco maior e um retorno menor em relação ao fundo de Renda.fixa.e.índice, já o fundo de ações possui o maior retorno, porém a volatilidade é maior que os demais. A Tabela 10 apresenta as estatísticas descritivas do retorno acumulado de cada fundo de investimento.

Tabela 10: Estatísticas descritivas do retorno acumulado dos Fundos de Investimento (período de janeiro de 2008 até dezembro de 2018)

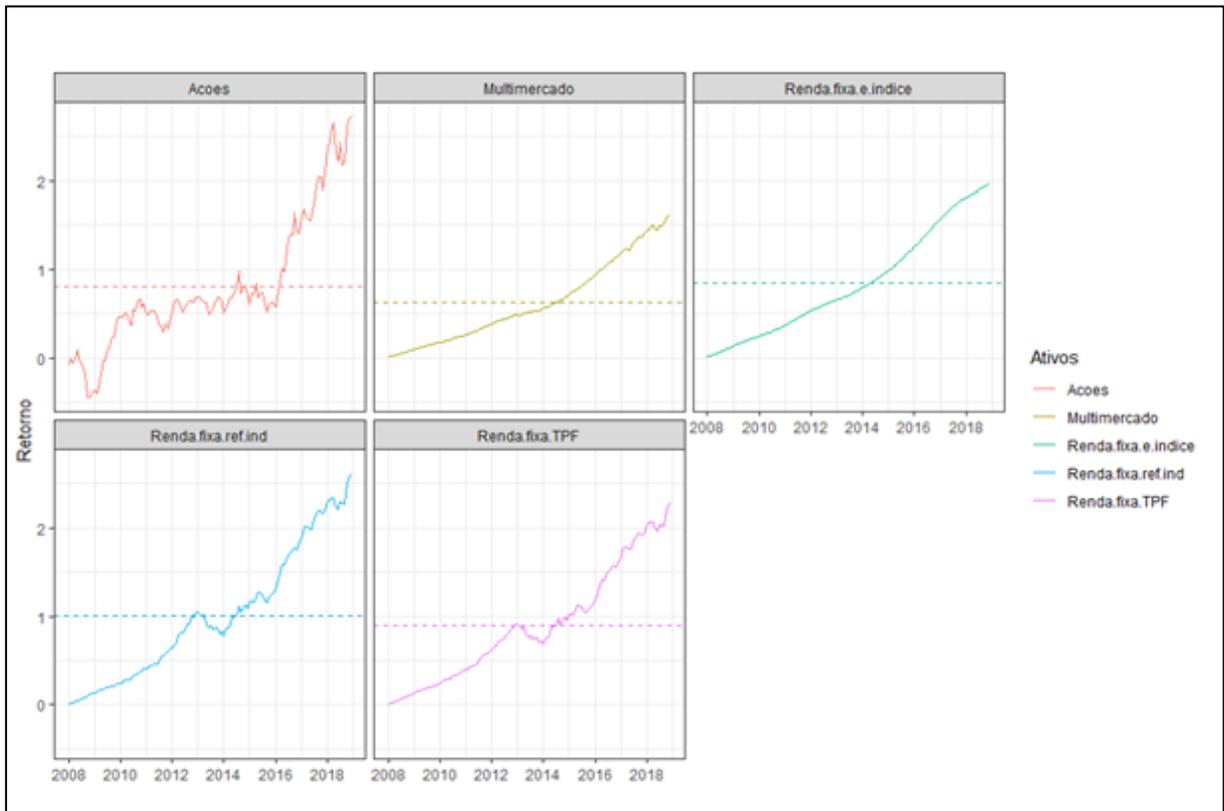
<b>Ativos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Q25</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Q75</b>	<b>Máximo</b>
Ações	-0,452	0,466	0,799	0,626	0,970	2,73
Multimercado	0,0051	0,233	0,628	0,514	0,987	1,63
Renda.fixa.e.índice	0,00850	0,327	0,838	0,705	1,31	1,97
Renda.fixa.ref.ind	0,0091	0,366	1,01	0,909	1,51	2,60
Renda.fixa.TPF	0,0091	0,355	0,901	0,797	1,35	2,28

Fonte: dados da pesquisa (2019)

Conforme a Tabela 10 o fundo de ações atingiu um mínimo de retorno acumulado de 45,2% e uma máxima de 273% no período analisado. O fundo de

Renda.fixa.ref.ind obteve a maior média e mediana, já o de multimercado a menor. A Figura 4 exibi o retorno acumulado dos fundos na qual fica mais clara a visualização das estatísticas descritivas.

Figura 4: Retorno acumulado dos fundos



Fonte: Dados de pesquisa 2019

Destaca-se a queda do retorno acumulado do fundo de ações no segundo semestre de 2008, no início da série, que foi afetada pela crise imobiliária norte americana, em contrapartida, os anos finais tiveram um crescimento considerado que pode ser um reflexo da queda na taxa de juros. No ano de 2013 os fundos Renda.fixa.ref.ind e Renda.fixa.TPF tiveram uma redução, esse fato pode dever-se ao aumento da taxa de juros que afeta os investimentos em renda fixa pré-fixada. Percebe-se uma correlação entre os fundos que será apresentada na Tabela 11.

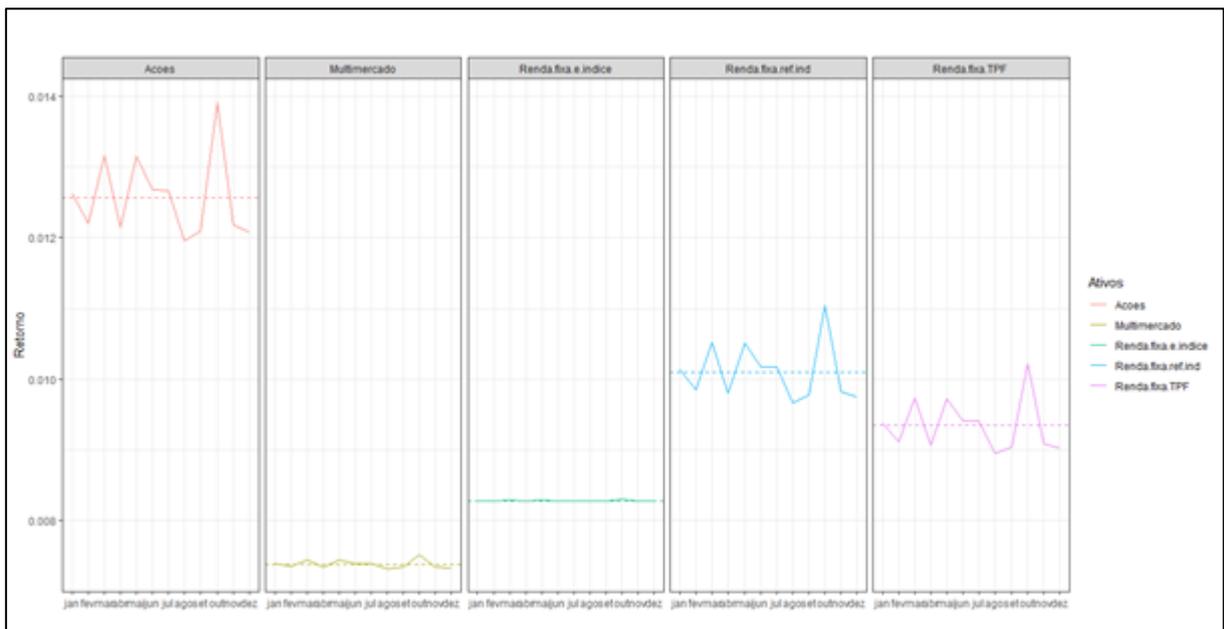
Tabela 11: Correlação dos retornos

	RF TPF	RFref.ind	RFeíndice	Ações	Multimercado
RF TPF	1,00	0,98 ***	0,16 *	0,36 ***	0,47 ***
RF ref.ind.	0,98 ***	1,00	0,15 *	0,37 ***	0,50 ***
RF e índice	0,16 *	0,15 *	1,00	-0,07	0,25 ***
Ações	0,36 ***	0,37 ***	-0,07	1,00	0,29 ***
Multimercado	0,47 ***	0,50 ***	0,25 ***	0,29 ***	1,00

Nota: Teste *p*-valor: \*\*\*  $P < 0,01$ ; \*\*  $0,01 \leq P < 0,05$ ; \*  $0,05 \leq P < 0,10$

Percebe-se que o fundo de renda fixa TPF possui uma forte correlação positiva com a renda fixa referenciado a índice, ou seja, ambos variam na mesma direção com um índice de 0,98, logo, investir nesses ativos ao mesmo tempo implica em não ter um gerenciamento adequado do risco. Já o fundo de ações em relação ao fundo de renda fixa e índice possuem a única correlação negativa, mas o teste *p*-valor de correlação não deu significativo. Em seguida, é apresentado por meio da Figura 5 os retornos previstos dos fundos de investimentos.

Figura 5: Retorno previsto dos fundos



Fonte: Dados da pesquisa 2019

Ao realizar a simulação de Monte Carlo por meio de uma distribuição normal multivariada conclui-se que o fundo multimercado possui os menores valores previstos e o segundo menor desvio padrão. O fundo de renda fixa e índice possui o

menor desvio padrão, em contrapartida o fundo de ações possui o maior, além de alcançar os maiores retornos em todos os quartis. Conforme as estatísticas analisadas, esses resultados para os retornos previstos eram esperados.

A Tabela 12 apresenta a Probabilidade de Insolvência e o Retorno Acumulado para as carteiras com 100% do capital investidos em apenas um único fundo aplicadas no ALM no qual por meio da simulação de Monte Carlo foram simulados 1000 cenários.

Tabela 12: Carteiras de um único fundo de investimento

	R.F. TPF	R.F. Ref. Ind.	R.F. índ.	Ações	Multimercado
Probabilidade de insolvência	74,3%	72,1%	3,5%	68,2%	92,1%
Retorno acumulado	11,81%	12,82%	10,40%	16,17%	9,23%

Fonte: dados da pesquisa (2019)

A carteira com o fundo de renda fixa e índice apresentou, consideravelmente, a menor probabilidade de insolvência e o segundo pior retorno, perdendo apenas para a de multimercado, que, por sua vez, resultou na pior probabilidade de insolvência. A carteira constituída pelo fundo de ações obteve o melhor retorno acumulado e a segunda melhor probabilidade de insolvência.

A Tabela 13 apresenta a carteira otimizada pelo Algoritmo Genético utilizando a limitação de aplicação máxima informada na Tabela 4.

Tabela 13: Carteira otimizada pelo Algoritmo Genético

Mês	R.F. TPF	R.F. Ref. Ind.	R.F. índ.	Ações	Multimercado
1	0,42	0,26	0,18	0,09	0,05
2	0,43	0,24	0,18	0,10	0,05
3	0,37	0,28	0,18	0,11	0,06
4	0,41	0,25	0,19	0,10	0,05
5	0,34	0,26	0,21	0,12	0,07
6	0,36	0,28	0,19	0,11	0,06
7	0,40	0,27	0,18	0,09	0,06
8	0,39	0,27	0,18	0,10	0,06
9	0,37	0,25	0,23	0,10	0,05
10	0,41	0,25	0,16	0,12	0,06
11	0,35	0,26	0,20	0,12	0,07
12	0,39	0,28	0,16	0,11	0,06
Média	0,3867	0,2625	0,1867	0,1058	0,0583

Fonte: dados da pesquisa (2019)

O algoritmo genético aplicou 38,67% em média no fundo de Renda Fixa TPF, variando de 35% até 43%. Destaca-se que em média a aplicação em renda fixa foi de 83,58%, já em renda variável foi de 16,42%. A Tabela 14 informa a composição de seis carteiras sem alteração de pesos, no decorrer dos meses, a fim de comparar o resultado com a carteira otimizada aplicada no ALM.

Tabela 14: Composição das carteiras sem alterações de pesos

	R.F. TPF	R.F. Ref. Ind.	R.F. ind.	Ações	Multimercado
Carteira 01	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Carteira 02	0,34	0,33	0,33	0	0
Carteira 03	0,24	0,23	0,23	0,2	0,1
Carteira 04	0,26	0,27	0,27	0,2	0
Carteira 05	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Carteira 06	0,25	0,25	0,25	0,25	0

Fonte: dados da pesquisa (2019)

A primeira carteira foi composta igualmente entre os ativos, ou seja, 20% para cada fundo de investimento. A carteira 02 investiu apenas em renda fixa e a carteira 03 30% em renda variável. As carteiras de 04 a 06 não aplicaram em multimercado e na última as aplicações foram distribuídas igualmente nos demais fundos. A Tabela 15 apresenta as estatísticas descritivas dos retornos mensais das carteiras sem alteração de pesos e da carteira otimizada pelo Algoritmo Genético.

Tabela 15: Estatística descritiva do retorno mensal das carteiras

Carteiras	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Retorno_Carteira_01	0.00954	0.000292	0.00923	0.0102
Retorno_Carteira_02	0.00924	0.000271	0.00896	0.00986
Retorno_Carteira_03	0.00972	0.000314	0.00940	0.0104
Retorno_Carteira_04	0.00991	0.000333	0.00956	0.0107
Retorno_Carteira_05	0.00968	0.000339	0.00933	0.0105
Retorno_Carteira_06	0.0101	0.000350	0.00971	0.0109
Retorno_Carteira_GA	0.00957	0.000349	0.00922	0.0104

Fonte: dados da pesquisa (2019)

Os retornos da carteira 6 alcançaram a melhor média e o maior desvio padrão. Destaca-se que o retorno mínimo da carteira 6 foi maior que as médias das carteiras 1 e 2 e do que a carteira otimizada pelo Algoritmo Genético. A carteira 2, que é composta apenas por fundos de renda fixa, obteve o menor desvio padrão,

porém a menor média e o seu retorno máximo ficaram abaixo da média dos retornos das carteiras 4 e 6.

A Tabela 16 apresenta a probabilidade de insolvência do RPPS aplicando os ativos conforme as carteiras de 1 a 6 e da otimizada pelo Algoritmo Genético. Exibi o retorno acumulado das carteiras no término do 12º mês e a relação do retorno acumulado com a probabilidade de insolvência.

Tabela 16: Probabilidade de insolvência e retorno acumulado das carteiras

	Probabilidade de insolvência	Retorno acumulado	RA/PI
Carteira 01	69,60%	12,06%	17,33%
Carteira 02	70,20%	11,67%	16,62%
Carteira 03	69,20%	12,31%	17,79%
Carteira 04	68,90%	12,56%	18,23%
Carteira 05	71,10%	12,26%	17,24%
Carteira 06	68,60%	12,78%	18,63%
Carteira GA	71,00%	12,11%	17,06%

Nota: RA/PI representa a relação do retorno acumulado com a probabilidade de insolvência.

Conforme se evidencia na Tabela 16, a carteira nº 6, que foi composta por 25% em cada fundo de renda fixa e no fundo de ações, obteve a probabilidade de insolvência (68,60%) mais baixa e o maior retorno acumulado (12,78%). A carteira otimizada pelos Algoritmos Genéticos alcançou um retorno acumulado (12,11%) maior que a carteira composta por pesos iguais em todos os fundos e do que a carteira com investimento apenas em renda fixa. As carteiras com o peso em ações maior e sem aplicação em multimercado obtiveram a melhor relação retorno acumulado versus probabilidade de insolvência, o que corrobora os resultados da Tabela 12 que apresentou a carteira aplicada apenas no fundo de ações com uma probabilidade menor e o retorno acumulado maior do que no fundo de multimercado. A composição da carteira cinco se assemelha mais com a carteira otimizada, sendo que a carteira otimizada obteve uma menor probabilidade de insolvência e retorno acumulado.

Diante disso, realizou-se uma análise de sensibilidade em que foram criados outros cenários a partir da alteração dos parâmetros dos Algoritmos Genéticos, por questões operacionais relativos ao tempo de processamento a população foi reduzida de 2000 para 1000. Assim, algumas carteiras foram criadas pelos Algoritmos Genéticos a partir da alteração dos limites de aplicação, deixando-os mais próximos com as carteiras 4 e 6, que foram as que obtiveram a melhor relação

retorno acumulado versus probabilidade de insolvência. A Tabela 17 detalha os limites propostos e em seguida a composição das carteiras encontradas e os resultados.

Tabela 17: Limite de aplicação para as carteiras otimizadas pelo Algoritmo Genético

	R.F. TPF	R.F. Ref. Ind.	R.F. índ.	Ações	Multimercado
Carteira GA	1	0,6	0,4	0,2	0,1
Carteira GA 02	0,5	0,5	0,5	0,25	0,05
Carteira GA 03	0,45	0,45	0,45	0,45	0

Fonte: dados da pesquisa (2019)

Os limites de aplicação para os fundos de renda fixa na carteira GA 02 foram de 50%, os fundos de ações 25% e o de multimercado 5%. A carteira GA 03 teve um limite de 45% para cada fundo de investimento excluindo o de multimercado. A intenção desses limites é se aproximar das carteiras que obtiveram os melhores resultados, porém a principal diferença é que a carteira 4 não aplicou no fundo multimercado e a carteira GA 02 propôs um limite de 5%. A Tabela 18 exibi a composição da carteira GA 02.

Tabela 18: Composição da carteira GA 02

Mês	R.F. TPF	R.F. Ref. Ind.	R.F. índ.	Ações	Multimercado
1	0,26	0,27	0,29	0,15	0,03
2	0,27	0,31	0,24	0,15	0,03
3	0,28	0,31	0,25	0,13	0,03
4	0,22	0,32	0,26	0,17	0,03
5	0,27	0,24	0,28	0,16	0,05
6	0,24	0,26	0,25	0,19	0,06
7	0,25	0,27	0,30	0,15	0,03
8	0,22	0,27	0,28	0,18	0,05
9	0,29	0,27	0,24	0,16	0,04
10	0,29	0,35	0,18	0,14	0,04
11	0,30	0,23	0,28	0,14	0,05
12	0,24	0,26	0,27	0,16	0,07
Média	0,2608	0,2800	0,2600	0,1567	0,0425

Fonte: dados da pesquisa (2019)

O Algoritmo Genético aplicou 28% em média no fundo de Renda Fixa Ref.Ind, variando de 23% até 35% e 4,25% no fundo multimercado, variando de 3% até 7%. Destaca-se que em média a aplicação em renda fixa foi de 80,08%, já em

renda variável foi de 19,92%, variando de 16% no terceiro mês até 25% no sexto mês. A Tabela 19 informa a composição da carteira GA 03

Tabela 19: Composição da carteira GA 03

Mês	R.F. TPF	R.F. Ref. Ind.	R.F. índ.	Ações	Multimercado
1	0,20	0,17	0,30	0,33	0
2	0,28	0,18	0,26	0,28	0
3	0,19	0,22	0,33	0,26	0
4	0,14	0,32	0,30	0,24	0
5	0,29	0,09	0,29	0,33	0
6	0,23	0,17	0,28	0,32	0
7	0,21	0,24	0,22	0,33	0
8	0,24	0,32	0,27	0,17	0
9	0,22	0,30	0,24	0,24	0
10	0,20	0,31	0,25	0,24	0
11	0,31	0,22	0,24	0,23	0
12	0,25	0,17	0,29	0,29	0
Média	0,2300	0,2258	0,2725	0,2717	0

Fonte: dados da pesquisa (2019)

O algoritmo genético aplicou 27,17% em média no fundo de ações, variando de 17% até 33%. O fundo de renda fixa com o peso maior em média foi de renda fixa e índice com 27,25%. Destaca-se que em média a aplicação em renda fixa foi de 72,83%, variando de 67% até 83%. A Tabela 20 exibi as estatísticas das carteiras otimizadas pelos Algoritmos Genéticos.

Tabela 20: Estatística descritiva das carteiras otimizadas

Carteiras	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Retorno_Carteira_GA	0.00957	0.000349	0.00922	0.0104
Retorno_Carteira_GA_02	0.00971	0.000345	0.00938	0.0106
Retorno_Carteira_GA_03	0.0101	0.000398	0.00951	0.0109

Fonte: dados da pesquisa (2019)

A carteira GA 03 obteve o maior retorno médio e o maior desvio padrão. Destaca-se que a carteira GA 02 obteve um retorno médio maior que a carteira GA e um desvio padrão menor, ou seja, uma melhor relação risco e retorno. A Tabela 21 mostra a probabilidade de insolvência, o retorno acumulado e sua relação para cada carteira otimizada.

Tabela 21: Probabilidade de insolvência e retorno acumulado das carteiras otimizadas

	Probabilidade de insolvência	Retorno acumulado	RA/PI
Carteira GA	71,00%	12,11%	17,06%
Carteira GA 02	69,50%	12,29%	17,68%
Carteira GA 03	68,40%	12,82%	18,74%

Fonte: dados da pesquisa (2019)

A carteira GA 03 obteve o maior retorno acumulado (12,82%) e a menor probabilidade de insolvência (68,40%), e conseqüentemente, a melhor relação retorno acumulado versus probabilidade de insolvência (18,74%), mas a composição da carteira descumpriu a resolução CMN n° 3.922/10, que aborda sobre a política de investimento, ultrapassando os 30% em renda variável em alguns meses. Isso antes da atualização para a resolução CMN n° 4.695/2018. A composição da carteira GA 03 em relação à carteira 06, aplicou um pouco mais em fundo de ações e renda fixa e índice, 2,17% e 2,25% pontos percentuais, respectivamente, sendo que o fundo de ações contribui para um aumento do retorno acumulado e o de renda fixa ajuda para reduzir a probabilidade de insolvência. A composição da carteira GA 02 se assemelha com a carteira 4, mas a GA 02 possui um baixo investimento em multimercado, enquanto a carteira 4 não possui. A carteira GA 02 obteve a probabilidade de insolvência e o retorno acumulado menor do que a carteira 4 e a relação RA/PI da carteira 4 foi melhor, conclui-se que o fundo multimercado piorou o resultado.

Diante dos resultados encontrados, percebe-se a importância do investimento no segmento de renda variável, principalmente em fundos de ações frente ao fundo multimercado. A análise de carteiras sem alteração de pesos foi importante para alterar os limites de aplicação no Algoritmo Genético a fim de melhorar o resultado otimizado.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um modelo de gestão de ativos e passivos com rebalanceamento mensal da carteira para o período de um ano para o RPPS do município de Cabedelo. A simulação de Monte Carlo foi utilizada para projetar os ativos, ao passo que os passivos foram calculados pelo método determinístico. A função objetivo adotada para o ALM foi a de minimizar a probabilidade de insolvência e a seleção de carteira otimizada foi encontrada utilizando algoritmo genético.

O retorno necessário para alcançar o equilíbrio atuarial levando em conta a reserva matemática e o fluxo de caixa financeiros encontrados foi de 11,09% ao ano. Os resultados no que diz respeito às estatísticas descritivas dos fundos de investimento mostraram que o fundo de ações obteve o maior desvio padrão e a maior média, enquanto que o fundo multimercado alcançou a menor média e o de Renda Fixa e índice o menor desvio padrão, essas conclusões permaneceram na estatística descritiva para os retornos previstos.

A primeira carteira otimizada encontrada pelo Algoritmo Genético em comparação com seis carteiras elaboradas sem alterações de pesos só foi melhor que uma carteira (composta apenas por fundos de renda fixa) na relação retorno acumulado versus probabilidade de insolvência. Diante desses resultados foram selecionadas mais duas carteiras pelo algoritmo genético alterando os limites de aplicação com base nas melhores carteiras. A carteira em que foi proposto o limite de alocação de 45% para os três fundos de renda fixa e para o fundo de ações e 0% para o de multimercado obteve a melhor relação retorno acumulado versus probabilidade de insolvência, porém descumpriu a antiga resolução CMN nº 3.922/10, aplicando mais de 30% em renda variável em alguns meses, porém se o RPPS comprovar a adoção de melhores práticas de gestão previdenciária, poderá realizar maiores investimentos em ações. A probabilidade de insolvência em todos os cenários foi alta porque não foi considerado o plano de amortização do déficit atuarial ao longo dos anos.

Os resultados mostraram a importância de investir em fundo de ações para aumentar o retorno acumulado e reduzir a probabilidade de insolvência. Sendo assim, ressalta-se a importância de os RPPS comprovarem níveis mais elevados de práticas de gestão. Vale destacar a importância do Algoritmo Genético para

minimizar a probabilidade de insolvência e maximizar a rentabilidade dos ativos e como os limites de aplicação escolhidos afetam no resultado.

O presente trabalho apresentou algumas limitações, existem outras metodologias mais robustas para prever os ativos que consideram o impacto da taxa de juros, da inflação e outras premissas econômicas. Os passivos atuariais podem ser calculados por um método estocástico. Algumas hipóteses biométricas não foram consideradas. Recomenda-se para os próximos trabalhos analisar a gestão de ativos e passivos no longo prazo juntamente com o curto prazo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. **Projeção da População 2018: número de habitantes do país deve parar de crescer em 2047**. Disponível em: <http://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21837-projecao-da-populacao-2018-numero-de-habitantes-do-pais-deve-parar-de-crescer-em-2047>. Acesso em :29 de agosto de 2019.

AMARAL, F. V. A. **Gestão de ativos e passivos em entidades fechadas de previdência complementar**. 2010. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal da Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BERTUCCI, L.A.; SOUZA, F. H. R.; FÉLIX, L. F. F. Gerenciamento de risco de fundos de pensão no Brasil: alocação estratégica ou simples foco na meta atuarial? **Revista Economia & Gestão**, Belo Horizonte, v. 6, n. 13, p. 1-17.

BOGONI, N. M.; FERNANDES, F. C. Gestão de risco nas atividades de investimento dos Regimes Próprios de Previdência Social (RPPS) dos municípios do Estado do Rio Grande do Sul. **REAd. Rev. eletrôn. adm. (Porto Alegre)**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 117-148, Apr. 2011.

BRASIL. Portaria MPS nº 403, de 10 de dezembro de 2008. **Dispõe sobre as normas aplicáveis às avaliações e reavaliações atuariais dos Regimes Próprios de Previdência Social - RPPS da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, define parâmetros para a segregação da massa e dá outras providências**, Brasília, DF, dez 2008.

CASTRO, L. F. **Estratégia de composição de carreira ótima de fundos de investimento para os regimes próprios de previdência social com base na seleção de portfólio de Markowitz**. 2014. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Economia, CAEN, Fortaleza, 2014.

CHAN, B. L.; SILVA, F. L.; MARTINS, G. A. **Fundamentos da Previdência Complementar**. São Paulo: Atlas, 2010.

COSTA, N. R. D. A situação dos Regimes Próprios de Previdência Social. **Jornal Carta Forense**. 2016. Disponível em <http://www.cartaforense.com.br/conteudo/artigos/a-situacao-dos-regimes-proprios-de-previdencia-social/16715>. Acesso em: 29 de agosto de 2019.

FERREIRA, R. G. **Tesouro direto e outros investimentos financeiros**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

HURTADO, N. H. **Análise de metodologias de gestão de ativos e passivos de planos de benefício definido em fundos de pensão: uma abordagem financeiro-atuarial**. 2008. 190p. Tese (Doutorado em Administração), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Previdência Social**.

Disponível em:

[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/politicas\\_sociais/180822\\_bps\\_25\\_previdencia.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/politicas_sociais/180822_bps_25_previdencia.pdf). Acesso em: 29 de agosto de 2019.

KEISER, J. I. **Modelos financeiros utilizados por fundos de pensão brasileiros para gestão de ativos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LIMA, F. G. **Análise de Riscos**. São Paulo: Atlas, 2015.

MACHADO, H. G. **Os RPPS do Brasil: uma análise de suas carteiras de investimentos**. Monografia (Graduação em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MARÇAL, H. V. **Três ensaios sobre gerenciamento de ativos e passivos em fundos de pensão**. 2011. 159p. Tese (Doutorado em Economia), Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011.

MARQUES, D. **ALM para EFPC no Brasil**. 2011. 150p. Dissertação (Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios), Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MELO, R. B. **Modelos de otimização para a gestão de ativos e passivos nos fundos de pensões**. 2015. Dissertação (Mestrado em Decisão Económica e Empresarial). Universidade de Lisboa, ISEG - Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, 2015.

MYRRHA, L. J. D.; OJIMA, R. Dinâmica demográfica, gestão pública e regimes próprios de previdência social: oportunidades e desafios para os servidores e municípios. **Gestão & Planejamento (Salvador)**, Salvador, v.17, n. 1, p. 59-74, jan. abr. 2016.

NASCIMENTO, C. C. **Um Modelo de ALM para fundos de pensão usando programação estocástica mista-inteira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

PELLICIONI, A.A. **Gestão de investimentos – Fundos de pensão**. 2011. 89p. Dissertação (Mestrado em Economia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RIBEIRO, G. X. K. **Asset Liability Management em um plano aberto de previdência complementar tradicional**. 2015. Dissertação (Mestrado em Métodos Matemáticos em Finanças), Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, 2015.

RODRIGUES, J. A. **Gestão de risco atuarial**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

SILVA, H. A. L. **Asset Liability Management (ALM) em RPPS: uma análise do Instituto de Previdência dos Servidores Municipais de Cabedelo/PB (IPSEMC)**. 2016. 62f. Monografia (Graduação em Ciências Atuariais), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVA, S. A. L. **Avaliação da eficácia dos modelos de asset liability management e liability driven investment para um fundo de pensão brasileiro**. 2015. 134p. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

**SUPERINTENDÊNCIA DE SEGUROS PRIVADOS**. Disponível em: <http://www.susep.gov.br/menu/informacoes-ao-publico/planos-e-produtos/previdencia-complementar-aberta>. Acesso em: 29 de agosto de 2019.

VALLADÃO, D. M. **Alocação Ótima e Medida de Risco de um ALM para Fundo de Pensão Via Programação Estocástica Multi-Estágio e Bootstrap**. 2008. Dissertação (Mestrado em Atuária), PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2008.

VARANIS, L. P. **Programação estocástica para fundos de pensão**. 2014. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) - Escola de Matemática Aplicada, Fundação Getúlio Vargas - FGV, Rio de Janeiro, 2014.