

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS - ICEX**

THALES MEIRELES DE MELO DINIZ

**PROJEÇÃO DA MORTALIDADE DO BRASIL PELO MÉTODO DE LEE-
CARTER E PMD E SUA APLICABILIDADE ATUARIAL**

**BELO HORIZONTE - MG
DEZ/2022**

THALES MEIRELES DE MELO DINIZ

PROJEÇÃO DA MORTALIDADE DO BRASIL PELO MÉTODO DE LEE-CARTER E PMD E SUA APLICABILIDADE ATUARIAL

Trabalho final de Graduação apresentado no curso de Ciências Atuariais do Instituto de Ciências Exatas (ICEX), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Orientador: Bernardo Lanza Queiroz

Belo Horizonte

DEZ/2022

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CELADE	Centro Latino-Americano de Demografia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
NU	Nações Unidas
NV	Nascidos Vivos
PCM	Principal Components Methods
PMD	Pattern of Mortality Decline
RGPS	Regime Geral de Previdência Social
RPPS	Regime Próprio de Previdência Social
SUS	Sistema Único de Saúde
SVD	Decomposição de Valores Singulares
TEM	Taxa Específica de Mortalidade

1	Sumário	
1.	INTRODUÇÃO	5
2.	REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1.	Mudanças da Mortalidade no Brasil	8
2.2.	Projeções de Mortalidade no Brasil	14
2.3.	Impactos da evolução da mortalidade	15
3.	DADOS E METODOLOGIA	17
3.1.	Dados	17
3.2.	Lee-Carter	18
3.3.	<i>Pattern of Mortality Decline</i> (PMD)	20
3.4.	Prêmio	21
4.	RESULTADOS	22
4.1.	Resultados Lee-Carter e PMD	23
4.1.1.	Gráficos a_x Lee-Carter	23
4.1.2.	Gráficos dos K_t Lee-Carter	24
4.1.3.	Gráficos taxa específica de mortalidade	27
4.1.4.	Gráficos da Esperança de Vida	30
4.2.	Prêmio	33
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
6.	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A qualidade de vida humana melhorou consideravelmente durante o processo do desenvolvimento moderno (Edwards; Tuljapurkar, 2005). Com essas melhoras a expectativa de vida da população aumentou e continua aumentando. No século XIX obteve-se a esperança de vida ao nascer de 38,7 anos para ambos os sexos combinados (Ortega, 1987, prólogo, p. viii). Já na primeira metade do século XX essa expectativa já passou para 45,7 anos (Alves, 2021).

O aumento da expectativa média de vida da população em geral e o aumento da longevidade estão relacionados diretamente com a queda da mortalidade observada nos últimos anos. O declínio da mortalidade teve início nas nações desenvolvidas e atualmente todas as regiões do mundo estão nesse mesmo processo (Edwards; Tuljapurkar, 2005). Já o envelhecimento da população pode não ser, necessariamente, relacionado com a redução da mortalidade. Segundo Carvalho (2003), “do ponto de vista puramente demográfico, o processo, ora em operação no Brasil, de envelhecimento da população deve-se, unicamente, ao rápido e sustentado declínio da fecundidade”. A queda da fecundidade ao longo dos anos e a contínua redução no número de filhos das mulheres em idade reprodutiva fazem com que a proporção da população adulta e idosa em comparação com a população jovem seja maior, acarretando envelhecimento populacional (Bravo, 2007). É de suma importância esclarecer que o aumento da longevidade e o envelhecimento de uma população são conceitos distintos. Quando se fala no aumento da longevidade de uma população estamos nos referindo ao número médio de anos vividos por um indivíduo ou geração, coorte. Por outro lado, quando nos referimos ao envelhecimento da população, estamos tratando da mudança na estrutura etária dessa população, ou seja, um aumento do peso relativo das pessoas acima de determinada idade (Carvalho, 2003).

O Brasil iniciou o processo de declínio da mortalidade na década de 1940, tardiamente em relação aos países desenvolvidos, nos quais foi observado já no século XIX (Prata, 1992). Na década de quarenta, a expectativa de vida brasileira era de 44 anos, passando para 54 na década de sessenta, um ganho de 10 anos na expectativa de vida em apenas 20 anos (Carvalho, 2004). Em um primeiro momento, a taxa de fecundidade se manteve alta, com uma população jovem

quase-estável e de rápido crescimento. No final da década de sessenta, a fecundidade já estava reduzindo em grandes proporções, gerando uma transição demográfica que levará, provavelmente, a uma nova população envelhecida quase-estável, com o crescimento muito baixo (Carvalho; Wong, 2008). Já em 2019, a expectativa de vida no Brasil subiu drasticamente, dos homens passou para 73,1 anos e das mulheres para 80,1 (IBGE, 2020).

Buscando entender esse processo de queda da mortalidade, é de suma importância analisarmos as transições epidemiológicas e demográficas que ocorreram durante esse período. A transição epidemiológica refere-se às mudanças ocorridas nos padrões de morbidade, invalidez e morte que caracterizam uma população específica e, diante do fenômeno do envelhecimento da população, existe a premente necessidade de estruturação de serviços que possam responder às demandas emergentes do novo perfil epidemiológico do país (Vanzalla, 2019). Segundo Alves (2018), “a transição demográfica é o fenômeno de mudança de comportamento de massa mais expressivo e mais impactante da história da humanidade”. A teoria da transição demográfica explica a mudança na estrutura demográfica, com as quedas das taxas de mortalidade e natalidade. Ela está dividida em 4 fases, a primeira, com altas taxas de natalidade e mortalidade; a segunda, com uma queda na taxa de mortalidade e manutenção das altas taxas de natalidade; a terceira, com a taxa de mortalidade baixa e queda nas taxas de fecundidade. Por fim, a quarta fase, com a estabilização das taxas de natalidade em níveis baixos e baixos níveis de mortalidade (Vasconcelos; Gomes, 2012).

A evolução da medicina, ocorrida principalmente no século XX, ajudou e muito esse processo de diminuição da mortalidade. A criação das vacinas e a invenção da penicilina foram um dos principais marcos para essa evolução (Soares, 2021). Com o surgimento de novas tecnologias foi possível um avanço muito grande tanto na cura quanto no diagnóstico das doenças, dando mais qualidade de vida e uma sobrevivência maior à população. Além disso, “o crescimento dos cuidados com a saúde preventiva comprova a sua relevância para a longevidade da população” (Soares, 2021). Com o passar dos anos, essas tecnologias se tornam cada vez mais avançadas, possibilitando que a expectativa de vida da população seja cada vez maior.

O aumento da expectativa média de vida é “uma grande conquista civilizacional das sociedades modernas” (Bravo, 2007, 2). Tanto o envelhecimento quanto o aumento na esperança de vida geram desafios em várias áreas da nossa sociedade. Uma dessas preocupações está na sustentabilidade dos Sistemas de Aposentadorias e Pensões e nos cuidados com a saúde da população mais velha (Castro e Silva, 2019). Os sistemas de aposentadorias, tanto o Regime Geral de Previdência Social (RGPS) quanto o Regime Próprio de Previdência Social (RPPS), utilizam o regime de repartição simples. Esse regime tem como base a chamada solidariedade entre os participantes, em que as contribuições dos integrantes do regime pagam as aposentadorias e pensões dos beneficiários. Portanto, para que esse regime tenha uma solvência, ou seja, que o regime consiga arcar com todos os seus custos, é necessário que a soma das contribuições seja maior que a soma dos benefícios pagos. Com esse intuito, ocorreu recentemente, em 2019, uma reforma no RGPS e no RPPS, no qual o tempo de contribuição mínima e a idade mínima para se aposentar foram aumentados para fazer com que os contribuintes paguem por mais tempo as contribuições e recebam menos tempo de aposentadoria.

Além disso, os sistemas de previdência complementar também são afetados com o aumento da longevidade e com a queda da mortalidade. Segundo Fabiana (2002), “nas entidades de previdência complementar a identificação oportuna de possíveis desvios da premissa da mortalidade à realidade subjacente visa garantir a solvência e a manutenção dos benefícios de longo prazo”. Essas mudanças são vistas, principalmente, no valor cobrado da contribuição/anuidade, esta que será calculada posteriormente neste trabalho. Com isso, é de suma importância incluir boas projeções nas análises atuariais, para que se tenha resultados cada vez mais próximos dos cenários realmente observados.

Tendo em vista esse cenário de aumento na expectativa de vida, foi criado o termo Risco de Longevidade, que resumidamente consiste no risco de as pessoas viverem em média mais do que o indicado nas tabelas de vida, sobrevivência e mortalidade (Castro e Silva, 2019). Com isso, a utilização de métodos para projetar a mortalidade para saber o comportamento da mortalidade no futuro é de grande valia e tem um impacto direto nos cálculos atuariais em diversos planejamentos de políticas sociais e econômicas de um

país (Diaz; Debón;, Giner-Bosch, 2018). Para tal, são utilizados diversos métodos de projeção, entre eles o Lee; Carter (1992), com alterações sugeridas por Lee; Miller (2001), e o *Pattern of Mortality Decline* (PMD). Os modelos estocásticos como o Lee; Carter apresentam algumas vantagens, entre elas é que as séries de mortalidade históricas, ou seja, as já observadas, é que ditam o comportamento das mortalidades projetadas, eliminando por quase completo a subjetividade inerente. Além disso, nas primeiras projeções, além dos valores médios da mortalidade, ele fornece intervalos de confiança para pontos futuros no tempo, adicionando ao modelo um grau de incerteza (Castro e Silva, 2019).

O objetivo deste trabalho consiste na projeção da mortalidade brasileira de 2010 até 2050, analisar a diferença entre as projeções realizadas pelo IBGE e as projeções realizadas no presente trabalho e aplicar a projeção nos cálculos atuariais (prêmio puro). Além disso, contribuir com o estudo da dissertação da Flávia Sommerlatte e da tese de doutorado de Luciano Gonçalves. Na primeira foi feita a projeção da mortalidade apenas para o estado de São Paulo, já na segunda foi projetada nos níveis de padrões da mortalidade para o Brasil e as grandes regiões.

Neste trabalho projetamos a mortalidade no Brasil, utilizando as bases revisadas e atualizadas. Utilizaremos a base de dados retirada do *site* das Nações Unidas (NU), pegando a população e os óbitos de 1950 a 2021. Serão utilizados alguns métodos diferentes, dentre eles, Lee; Carter (1992) e *Pattern of Mortality Decline* (PMD). Depois dessa projeção, serão comparadas as projeções feitas por modelo e com as projeções já existentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as quais utilizam o método determinístico. Por fim, avaliaremos o impacto das diferentes projeções no cálculo da anuidade de uma previdência privada.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Mudanças da Mortalidade no Brasil

A queda da mortalidade é um fenômeno global que teve seu início nos países desenvolvidos. Esses países tiveram um desenvolvimento na industrialização e

um grande aumento da renda *per capita* da população, que culminaram na redução da mortalidade e, conseqüentemente, um aumento na expectativa de vida média da população (Edwards; Tuljapurkar, 2005).

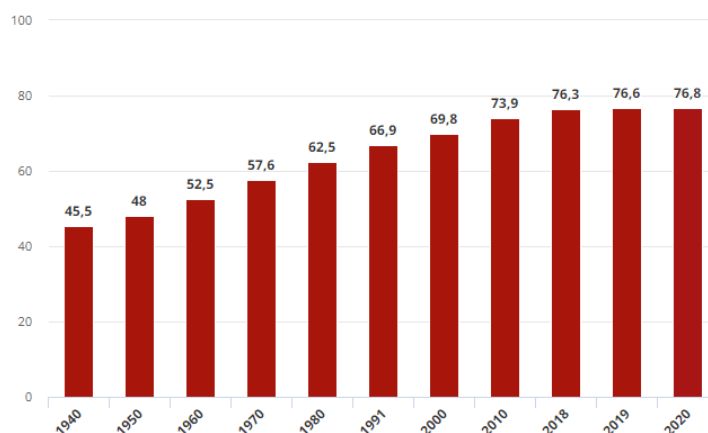
Tomando como exemplo a Europa, as revoluções Agrícola e Industrial, junto com a urbanização e a melhoria na qualidade de vida, foram fundamentais para o declínio da mortalidade. Além disso, essas melhorias mudaram o perfil epidemiológico da época, reduzindo drasticamente as mortes por doenças infecciosas, a maior causa de morte do período. Segundo Santos (2007), dois acontecimentos causaram a redução da mortalidade: o controle de doenças infecciosas que atingiram principalmente as idades mais jovens na primeira metade do século XX e a redução da mortalidade nas idades mais avançadas.

A queda da mortalidade no Brasil começou tardiamente em relação aos países desenvolvidos, na década de 1940, enquanto nesses países foi observada já no século XIX (Prata, 1992). Nessa década a esperança de vida ao nascer no Brasil, para ambos os sexos, era inferior a 50 anos (IBGE, 2010). Já em 2019, aproximadamente 70 anos depois, uma pessoa nascida no Brasil tinha uma expectativa de viver, em média, 76,6 anos.

Tal como ocorreu anteriormente na Europa, nos países desenvolvidos, o declínio do coeficiente de mortalidade geral não é o único aspecto notável no Brasil nos últimos 50 anos. Foram observados, também, a redução da mortalidade infantil, o aumento da expectativa de vida da população e a modificação do seu perfil epidemiológico (Prata, 1992). Com o avanço da transição demográfica e epidemiológica, a redução da mortalidade passará a depender menos das taxas de mortalidade nas idades jovens e sim nas idades avançadas (Calazans; Queiroz, 2020).

O gráfico 1 (G1, 2021) mostra a evolução da expectativa de vida brasileira ao nascer de 1940 a 2020, para ambos os sexos. A esperança de vida saiu de 45,5 anos em 1940 para 76,8 em 2020, um ganho de, aproximadamente, 4 anos de vida a cada 10 anos, uma evolução significativa nesse período.

Gráfico 1- Expectativa de vida do brasileiro ao nascer (1940 - 2020)



Fonte: G1, 2021

É importante salientar que o processo de redução da mortalidade no Brasil ocorreu tardiamente, porém em ritmo acelerado (Prata, 1992; Brito, 2007). Essa rápida queda na mortalidade e, por consequência, evolução das esperanças de vida nos leva a acreditar que nos próximos anos a tendência é continuar aumentando, gerando o seguinte questionamento: “Será que o recente ritmo de ganhos na esperança de vida e na esperança de vida ativa vai se estender às próximas gerações, ou estamos nos aproximando do ponto em que os retornos serão cada vez mais decrescentes?” (Wachter 1997 p.1-2).

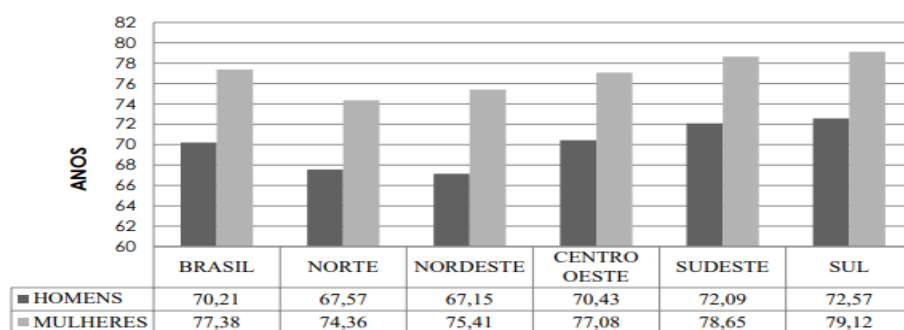
Comparando a expectativa de vida no Brasil com a de um país Europeu ainda estamos atrás. Pegando como exemplo a França, em 1960 a expectativa de vida era de 69,87 anos (CountryEconomy, 2021), o Brasil alcançou essa expectativa apenas em 2000, uma diferença de 40 anos. Já em 2020 a expectativa de vida na França é de 82,5 (CountryEconomy, 2021). Acredita-se que ainda há um longo caminho a ser percorrido com relação às melhorias de saúde, para que as tendências observadas no Brasil possam se igualar às observadas nos países desenvolvidos (Camargo; Rodriguez; Machado, 2006). Segundo Castro e Silva; Albuquerque (2015), ao passo que o Brasil se aproxima dos níveis de expectativa de vida dos países desenvolvidos, ocorre um distanciamento na convergência relacionada às causas *mortis*, tais como doenças cardiovasculares, câncer,

acidentes de trânsito, alcoolismo e tabagismo. A expectativa de vida dos brasileiros tem aumentado no decorrer das últimas décadas, mas esses fatores impedem que haja uma elevação ao nível dos países desenvolvidos (Lasmar; Siviero, 2018).

Com a pandemia da covid-19, que teve início em 2020, ocorreu um excesso de mortalidade, fazendo com que as taxas de mortalidade subissem muito em consequência da doença. No período de março a maio de 2020, foi estimado um excesso de 39.146 óbitos, dos quais 23.979 ocorreram entre homens e 15.167 entre mulheres no Brasil (Silva, G. A., Jardim, B. C., & Santos, C. V. B. D. (2020)). Assim, os cálculos das esperanças de vida foram muito afetados, incorporando os efeitos da pandemia da covid-19 na mortalidade. Com o intuito de tirar esse efeito, o IBGE calculou a expectativa de vida da população brasileira em 2020, desconsiderando o período da pandemia, e a expectativa foi de 76,8 anos. Teve um aumento de 2 meses se comparada com o ano 2019, anteriormente mostrada (IBGE, 2021). Assim como o IBGE, este trabalho vai considerar os dados de população e óbitos retirados do *site* da NU até o ano de 2019, para que a alta mortalidade da pandemia não afete na projeção da mortalidade.

Assim como em outros aspectos, o Brasil também é desigual nas taxas de mortalidade entre as regiões/estados do país. Enquanto algumas regiões estão em uma fase avançada da transição epidemiológica, outras ainda se encontram no início dela, essa diferença tem uma influência muito grande na diferença da mortalidade (Prata, 1992; Wood & Carvalho, 1994; Schramm, 2004). O gráfico 2 mostra a expectativa de vida ao nascer no Brasil e nas macrorregiões, separada por sexo.

Gráfico 2 - Brasil: sobremortalidade masculina (1980 e 2010)



Fonte dos dados básicos: IBGE, 2013.

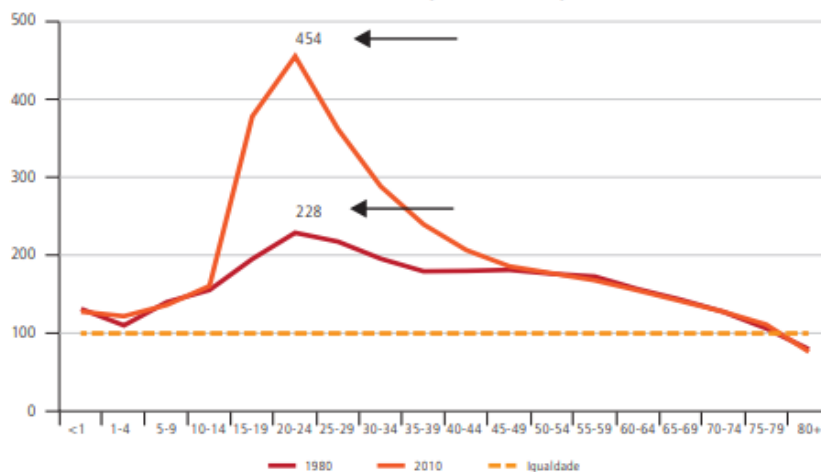
Fonte: LASMAR; SIVIERA, 2018

Pode-se observar que as regiões Norte e Nordeste apresentam as menores expectativas de vida, para ambos os sexos, ao passo que Sul, Sudeste e Centro-Oeste, respectivamente, apresentam as maiores. Essas diferenças são causadas, principalmente, pela diferença dos investimentos na melhoria da infraestrutura e nas políticas de saúde pública para os seus habitantes (Lasmar e Siviero, 2018).

Um estudo realizado por Souza (2018), mostra que a mortalidade em 1990 de recém-nascidos, era muito desigual entre as regiões do Brasil. O pior estado era Alagoas com uma taxa de 114.1/1000 nascidos vivos (NV), sendo 4 vezes maior que o Rio Grande do Sul, que apresentava a menor taxa, que era de 23.2/1000 NV. Com o passar de 25 anos o estado que apresenta a pior taxa é o Acre, com uma taxa de 27/1000 NV, sendo que a menor continua sendo a do Rio Grande do Sul com 12/1000 NV. Porém, ocorreu uma considerável redução na diferença entre a maior e a menor taxa, sendo agora de 2,3. Nesses 25 anos as regiões que tiveram a maior redução na mortalidade foram as mais desenvolvidas, Sul e Sudeste, enquanto as que tiveram a menor redução foram as regiões Norte e Nordeste. Essa diferença nos mostra que a mortalidade no Brasil é distinta entre as diversas regiões do país e que vem se reduzindo, à medida que a mortalidade está caindo.

Além da diferença da mortalidade entre regiões do Brasil, existe uma considerável diferença entre os sexos. A distribuição de óbitos da população brasileira é de 40% feminina e 60% masculina, o que é mais surpreendente é que essa proporção se manteve a mesma em 30 anos, entre 1980 e 2010, demonstrando uma sobremortalidade masculina no Brasil (Kanso, 2014). A faixa etária que apresenta a maior diferença é a de 15 a 29 anos, na qual a razão entre 1980 e 2010 passou de 214 para 396 óbitos. Essa sobremortalidade masculina contribuiu para a menor esperança de vida dos homens, ou seja, provoca um arrefecimento no número médio de anos de vida ganhos por eles (Oliveira e Albuquerque, 2005). Isto se deve ao aumento da mortalidade por causas externas, especialmente por homicídios. Segundo Souza et al. (2012), este é um grave e grande desafio para a saúde pública. O gráfico 3 demonstra a sobremortalidade masculina separada por faixa etária.

Gráfico 3 - Brasil: sobremortalidade masculina (1980 e 2010)



Fonte: SIM/Ministério da Saúde.

Nota: 'Para ambos os anos, utilizaram-se médias móveis.

Fonte: KANSO, 2014

Para Pendleton (1985), o declínio da mortalidade se dá, em sua grande parte, por meio de medidas de saúde e, em seguida, pelo desenvolvimento econômico. No Brasil, esse processo não foi diferente, tanto a adoção de medidas preventivas quanto o desenvolvimento econômico foram mecanismos para a redução da mortalidade brasileira. Ao contrário do que foi observado na Europa, esses dois processos ocorreram de maneira simultânea, ao passo que na Europa as medidas de saúde vieram primeiro e logo em seguida o desenvolvimento econômico (Wood; Carvalho, 1988). Uma das principais medidas de saúde no Brasil foi, depois de sua redemocratização, a promulgação da Constituição de 1988, na qual a saúde passou a ser um direito de todos e um dever do Estado, criando uma base para o sistema público que temos atualmente (Souza, 2018). A Lei Federal n. 8.080, de 1990, regulamenta o Sistema Único de Saúde (SUS) com o objetivo de identificar e divulgar os condicionantes e determinantes da saúde, formular a política de saúde para promover os campos econômico e social e instituir ações de promoção, proteção e recuperação de

saúde, integrando ações assistenciais e preventivas. O SUS atende, atualmente, cerca de 75% dos 200 milhões de habitantes do Brasil (Estadão, 2019).

Já na parte da economia, o Brasil fortaleceu sua base industrial e também teve uma revolução agrícola nos últimos 50 anos, o que deu uma alavancada na economia brasileira (Almeida, 2019). Atualmente, o Brasil é o quarto maior exportador de grãos do mundo, ficando atrás apenas de China, Estados Unidos e Índia. Porém, se considerarmos apenas o valor do grão exportado, o Brasil é o maior do mundo (Embrapa, 2021).

2.2. Projeções de Mortalidade no Brasil

Dentre as várias formas de projetar a mortalidade, os métodos determinísticos são os mais utilizados, como é o caso dos métodos mais utilizados por órgãos como as Nações Unidas e o Centro Latino-Americano de Demografia (CELADE) (Fígoli, 1998).

As projeções realizadas pelo IBGE no Brasil, instituto que é responsável por grande parte das estatísticas sociais, econômicas e demográficas do país, não são diferentes (Castro e Silva, 2019). Essa maneira tradicional de fazer as projeções apresenta alguns problemas, o primeiro é que nenhuma probabilidade é associada aos intervalos e o segundo é que apenas a utilização de variantes alta e baixa não é realista e é inconsistente, do ponto de vista estatístico (Lee, 1998; Alho, 1998). A utilização da abordagem tradicional conduz a resultados subestimados, demonstrando a real necessidade de introduzir a incerteza nas projeções (Keilman, 1997; Lee; Tuljapurkar, 2000, 1998a, 1998b).

Todos os anos o IBGE publica as Tábuas Completas de Mortalidade desde 1999, em cumprimento ao Decreto Presidencial n. 3.266, de 29 de novembro daquele ano. Essas tábuas são provenientes de uma projeção que tem como ponto de partida os dados censitários, as informações disponíveis sobre os registros de óbitos e o conhecimento acerca da Transição Demográfica e Epidemiológica da população do país ao longo do tempo (IBGE, 2021). Essa informação é crucial, pois é ela que subsidia o cálculo do chamado fator previdenciário para fins das aposentadorias dos segurados vinculados ao Regime Geral da Previdência Social (RGPS), administrado pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). A última publicada, na data de elaboração deste trabalho, foi a de 2021, em que

as projeções partem dos dados de 2010, ano do último Censo Demográfico divulgado. Nessas projeções o IBGE utiliza a hipótese da continuidade da queda da mortalidade chegando a um padrão limite, dado pela tábua limite de mortalidade disponibilizada pelo U.S. Census Bureau. Foi realizada uma interpolação linear das ${}_nM_x$'s entre 2010-2100, obtendo então as tábuas de mortalidade para todos os anos dentro do horizonte da projeção para o Brasil, este de 2010-2060 (Castro e Silva, 2019).

A não utilização da probabilidade pelo principal instituto de dados estatístico do Brasil, o IBGE, nos leva a fazer um importante questionamento: qual seria a diferença nos cálculos das mortalidades e conseqüentemente nas esperanças de vida, se fosse utilizado um modelo probabilístico nas projeções?

As projeções da mortalidade realizadas de forma determinística, como pelo IBGE, não fornecem uma indicação adequada para a incerteza embutida nas previsões, pois não levam em consideração a variabilidade nos processos demográficos, nem indicam a amplitude dos possíveis resultados, o que só ocorre no caso de projeções probabilísticas (Raftery et al., 2014; Keilman et al., 2002). De acordo do Castro e Silva (2019), a grande vantagem da projeção estocástica em relação à projeção determinística é que, por meio da primeira, é possível se preparar para prováveis crescimentos acima ou abaixo do valor médio esperado, e modelar as políticas públicas em função, agora, de um conjunto de possibilidades, em vez de um número fixo e determinado, que não necessariamente será aquele observado no futuro.

2.3. Impactos da evolução da mortalidade

O aumento da expectativa média de vida é “uma grande conquista civilizacional das sociedades modernas” (Bravo, 2007). O ser humano sempre lutou e ainda continua lutando pela ampliação de sua sobrevivência e, cada vez mais, alcançando idades mais avançadas com uma melhor condição de vida. Porém, a mudança na mortalidade gera conseqüências e é uma preocupação do Estado, em face do aumento dos gastos para efetivar políticas públicas relacionadas à Saúde, à Previdência Social e à Assistência Social.

Para Lima-Costa; Veras (2003), o envelhecimento populacional é um dos maiores desafios da saúde pública contemporânea. Com o envelhecimento da

população, a demanda por serviços de saúde aumentou e um dos principais desafios atuais é a escassez de recursos para uma demanda crescente. Quando nos referimos à população idosa, esta consome mais serviços de saúde, além de as internações e consultas hospitalares serem mais frequentes. Somado a isso, normalmente, as doenças dos idosos são crônicas e múltiplas, perdurando por vários anos, exigindo acompanhamento constante, cuidados permanentes, medicação contínua e exames periódicos, o que leva a uma demanda de recursos financeiros muito alta (Lima-Costa; Veras, 2003).

Neste trabalho iremos focar nas consequências da mortalidade para a sustentabilidade dos Sistemas de Aposentadorias e Pensões. As entidades de previdência precisam projetar e calcular os recursos necessários hoje para cobrir os compromissos futuros, tendo em vista a natureza longínqua de suas obrigações. Para isso, é necessário fazer projeções e utilizar premissas, como: taxa de mortalidade, taxa de desconto, taxa de crescimento salarial e fator de capacidade (Silva, 2010). Todas essas projeções e premissas têm o objetivo de garantir a solvência da entidade no longo prazo; por isso, quanto melhor a projeção, mais aderente à realidade da entidade, maior a chance de os cálculos serem assertivos. Além disso, conseguimos mitigar o risco de subscrição da entidade que, resumidamente, é a possibilidade de perdas decorrentes do uso inadequado de metodologias ou premissas atuariais, incluindo falhas na especificação técnica do produto e nas condições de aceitação e precificação. Abrange os riscos de aceitação, cancelamento, longevidade, mortalidade, morbidade e desenho de produtos (LCA, 2020).

No Brasil, as entidades de previdência complementar são recentes, não contando com um histórico de dados que seja razoavelmente grande para poderem fazer boas projeções. Com isso, muitas utilizam tábuas de mortalidade de outros países, o que pode não refletir o real cenário de suas respectivas carteiras de participantes, ainda mais em cenários de longo prazo, com o aumento da expectativa de vida, podendo gerar cálculos e projeções fora da realidade da entidade (Silva, 2010).

Por isso, nos planos de previdência, conhecer as características demográficas da sua carteira de participantes é extremamente importante para a gestão adequada dos fundos previdenciários e para a manutenção de sua solvência. Como Silva descreve:

o dimensionamento adequado das reservas matemáticas e da precificação das contribuições necessárias para garantir a solvência das entidades de previdência passa, necessariamente, pelo acompanhamento da evolução/variação da mortalidade dos participantes do plano, cuja ferramenta atuarial utilizada para capturar as características da longevidade humana se configura por meio da tábua de mortalidade (Silva, 2010).

Com isso, é de suma importância incluir boas projeções nas análises atuariais, para que se tenha resultados cada vez mais próximos dos futuros cenários das entidades e assim prever com precisão as obrigações e direitos futuros da entidade.

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Dados

Neste capítulo são apresentadas as bases de dados de população que foram utilizadas neste trabalho. Os dados utilizados foram retirados do *site* das Nações Unidas (NU), no Departamento de Economia e Interesses Sociais (Department of Economic and Social Affairs)¹. Nesse departamento encontramos diversos dados acerca da população, mortalidade e fecundidade de vários países.

Primeiramente, baixamos os dados de óbitos e população para cada sexo separadamente, desagregados por idade simples, ano e região. As idades simples vão de 0 até o intervalo aberto 100+. Com os dados em mãos, foram selecionados apenas os dados do Brasil, país de análise. Os dados vão desde 1950 até 2022, mas utilizamos os dados até 2019, excluindo os anos de 2020 e 2021, pois durante esse período a mortalidade foi muito afetada pela pandemia da covid-19, o que iria afetar nas projeções feitas. Por isso, optou-se por retirar os dados desse período, uma oportunidade para futuros trabalhos, e analisar o impacto dessa mortalidade nas projeções. Depois desse processo, foi feito¹ o cálculo das taxas específicas de mortalidade, utilizando a seguinte fórmula:

$${}_n TEM_x = \frac{{}_n O_x}{{}_n P_x}$$

¹ UN. Disponível em <https://population.un.org/wpp/DownloadStandard> Acesso em: 1º de outubro de 2022

${}^nTEM_x = \text{Taxa Específica de Mortalidade entre as idades } x, x + n$

${}^nO_x = \text{Óbitos entre as idades } x, x + n$

${}^nP_x = \text{População entre as idades } x, x + n$

Foi calculada a taxa específica de mortalidade (TEM) para cada sexo separadamente e depois foi feita para a população total, juntando ambos os sexos. Com essas informações em mãos, começamos a fazer as projeções das taxas de mortalidade. Para fazer as projeções e gráficos, foi utilizado o programa estatístico R².

3.2. Lee-Carter

Lee; Carter (1992) utilizam os métodos das componentes principais (*Principal Components Methods – PCM*), em que estimam o padrão etário da função de mortalidade por meio das bases históricas de dados. Ou seja, o futuro é um reflexo do passado.

O método de projeção de Lee; Carter (1992) utiliza como base uma matriz de taxas centrais de mortalidade por idade e sexo no ano t ($m(x,t)$). O ajuste do modelo é feito utilizando a seguinte formulação:

$$\ln(m(x, t)) = a_x + b_x k_t + e_{x,t}$$

O parâmetro a_x é uma constante aditiva específica a cada idade e o conjunto dela descreve a forma geral do perfil da mortalidade. Já o parâmetro k_t é o índice de nível de mortalidade no período t, variando com o tempo, e normalmente ele decresce com o passar do tempo t. Além disso, temos o parâmetro b_x que descreve as mudanças das taxas em respostas às mudanças de k, podendo ser negativo, indicando um aumento na mortalidade em algumas idades enquanto cai em outras. Por fim, temos o termo de erro $e_{x,t}$, que possui média 0 e variância σ^2 . Esse parâmetro de erro reflete as influências históricas não capturadas pelo modelo. Assim, transformamos as taxas específicas de mortalidade em duas componentes: o nível da mortalidade, que depende do tempo, e os

conjuntos² de parâmetros que descrevem a estrutura da mortalidade, independentemente do tempo.

Os $a(x)$ são estimados como a média dos $\ln(m(x,0))$ ao longo do tempo, enquanto $b(x)$ é estimado com $\ln[m(x,1)] - \ln[m(x,0)]$. Os $k(t)$ são estimados por Decomposição de Valores Singulares (SVD). A SVD decompõe a matriz num produto dos fatores de outras três matrizes: $A = USV$, onde U e V são matrizes ortogonais ($MM^t = I$) e S é diagonal. Os valores da matriz diagonal são chamados de valores singulares e por isso a decomposição recebe este nome (Nepomuceno, 2016).

Depois desse processo, é feita a modelagem do k_t como um passeio aleatório com tendência (random walk with drift), utilizando a seguinte equação:

$$k_t = k_{(t-1)} + d + e_t$$

Nessa equação, o parâmetro d é a mudança na média anual em k_t e o e_t são os erros não correlacionados.

Lee; Miller (2001) propuseram melhorias para o modelo de Lee; Carter (1992), diferindo nesses três aspectos: 1) o período de ajuste começa em 1950, 2) o ajuste de k_t envolve o ajuste da e_0 no ano t (último ano base da projeção) e 3) as taxas *jump-off* são as taxas atuais no ano de *jump-off*, em vez das taxas ajustadas (De Castro, 2019).

Lee; Miller (2001) constataram que o ajuste a partir dos scores históricos das componentes geravam um grande erro estimado, já que o padrão das taxas de mortalidade não era constante ao longo do tempo. Para ajustar esse problema, Lee; Miller (2001) adotaram 1950 como o ano de início do ajuste para a projeção, período inicial esse também utilizado por Tuljapurkar et al. (2000) na aplicação do método para os países membros do G7. Ademais, a estimativa de k_t foi realizada a partir do ajuste da expectativa de vida ao nascer no ano t , em vez do ajuste em função do total de mortes no mesmo ano t . Segundo De Castro (2019):

² R. Disponível em <https://www.r-project.org/> Acesso em: 24 de novembro de 2022.

essa correção proposta por LM (2001) de utilização das TEM's atuais (observadas) do último ano considerado no período da base da projeção (o que replica a e_0 no referido ano) ao invés das TEM's ajustadas para esse último ano do período base da projeção corrige o problema detectado no ano do jump-off.

Segundo Booth et. al. (2005, 2006), a variante de Lee; Miller (2001) produz projeções de mortalidade mais precisas do que a sua vertente original Lee; Carter (1992).

3.3. *Pattern of Mortality Decline (PMD)*

No método estocástico PMD, assumimos uma expectativa de vida inicial $e_0(t_1)$ e uma mortalidade específica $m_x(t_1)$, advindas de uma tabela de vida. Além disso, assumimos também que ao longo do período $\Delta t = t_2 - t_1$ é esperado que a esperança de vida ao nascer atinja o nível $e_0(t_2)$ com as taxas de mortalidade $m_x(t_2)$. A fórmula que expressa a transição entre as taxas de mortalidade $m_x(t_1)$ para $m_x(t_2)$ é:

$$\ln m_x(t_2) = \ln m_x(t_1) - k(t_1)p_x(t_1)$$

Nessa fórmula, $p_x(t_1)$ é o ganho dos padrões das mortalidades padronizadas por idade e o $k(t_1)$ é um coeficiente que determina o nível da redução da mortalidade ao longo do período Δt .

Como a taxa média da redução da mortalidade é dada por:

$$\ln m_x(t_1) - \ln m_x(t_2) \cong \left(1 - \frac{m_x(t_2)}{m_x(t_1)}\right)$$

A quantidade de k também pode ser interpretada como a taxa global de progresso na redução das taxas de mortalidade obtidas pela soma das taxas específicas por idade:

$$k * 100\% = 100\% * \sum_x (\ln m_x(t_1) - \ln m_x(t_2)) \cong \sum_x \left(1 - \frac{m_x(t_2)}{m_x(t_1)}\right) * 100\%$$

Neste trabalho, definimos como o $m_x(t_1)$ a mortalidade no Brasil em 2019 e escolhemos a França como o país que vamos modelar nossas taxas de mortalidade. A escolha desse país foi pelo fato de ele já estar em um estágio da

mortalidade mais avançado, tendo em vista que é um país desenvolvido. Para isso selecionamos as esperanças de vida na França de 2000 até 2030, para projetarmos as mortalidades no Brasil de 2020 até 2050, tendo a experiência da França.

3.4. Prêmio

Para o cálculo do prêmio, precisamos antes definir alguns termos. A função de perda futura, no caso discreto, é uma variável aleatória que depende da vida residual medida em anos inteiros K_x . O valor presente dos benefícios futuros pagos menos o valor presente dos prêmios a serem pagos a partir da assinatura do contrato até possivelmente o instante K_x , ignorando as despesas, é chamado função de perda futura líquida. Usaremos a letra “L” para a função de perda futura. Normalmente, existe um 0 subscrito para indicar que esta é a perda futura no instante 0, o momento da emissão da apólice. A função de perda futura, denotada por ${}_0L$, é definida por:

$${}_0L = \text{V.P dos benefícios pagos no instante } (K_x+1) - \text{V.P dos prêmios pagos possivelmente até o instante } K_x$$

V.P= Valor presente

Além disso, utilizamos o princípio da equivalência. Esse princípio estabelece que que a função de perda esperada de um contrato de seguro deve ser zero. Isso ocorre quando o valor presente atuarial dos encargos para o segurado é igual ao valor presente atuarial dos pagamentos de benefícios. Temos

$$E[{}_0L(K_x)] = 0$$

$$E[\text{V.P dos benefícios futuros}] = E[\text{V.P dos prêmios pagos}]$$

Neste trabalho, calculamos o prêmio de seguro para uma vida toda. Seja uma apólice de seguro de vida para um indivíduo (x). Se (x) morre no intervalo $[K_x, +K_x + 1)$, os beneficiários recebem um benefício, a ser pago pela seguradora no instante $(K_x + 1)$ e seja um prêmio anual P , que é pago pelo segurado, com uma anuidade vitalícia antecipada enquanto estiver vivo. O benefício recebido no nosso caso foi de 1000 reais; então, para calcularmos o prêmio, utilizamos a seguinte equação:

$$P = \frac{Ax}{ax} * 1000$$

Nessa equação, Ax é o valor presente atuarial dos benefícios futuros e é calculado pela fórmula:

$$A_x = \sum_{k=0}^{\infty} v^{k+1} * k/q_x$$

$$v = (1 + i)^{-1}$$

$$np_x = \frac{I_{x+n}}{I_x}$$

$$nq_x = 1 - np_x$$

$$k/q_x = k + 1q_x - kq_x$$

O i da fórmula é a taxa de juros que será de 6%. Além disso, o I_x é a população na idade exata x. Já o ax é o valor presente dos prêmios pagos, calculado pela fórmula:

$$a_x = \sum_{k=1}^{\infty} v^k * kp_x$$

4. RESULTADOS

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados da aplicação do modelo Lee; Carter (1992) e o PMD à mortalidade no Brasil. O intuito da projeção é obter uma projeção das esperanças de vida ao nascer e das taxas de mortalidade. Além disso, utilizar as tabelas de vida geradas das mortalidades projetadas e calcular o prêmio que uma entidade de previdência complementar deve receber,

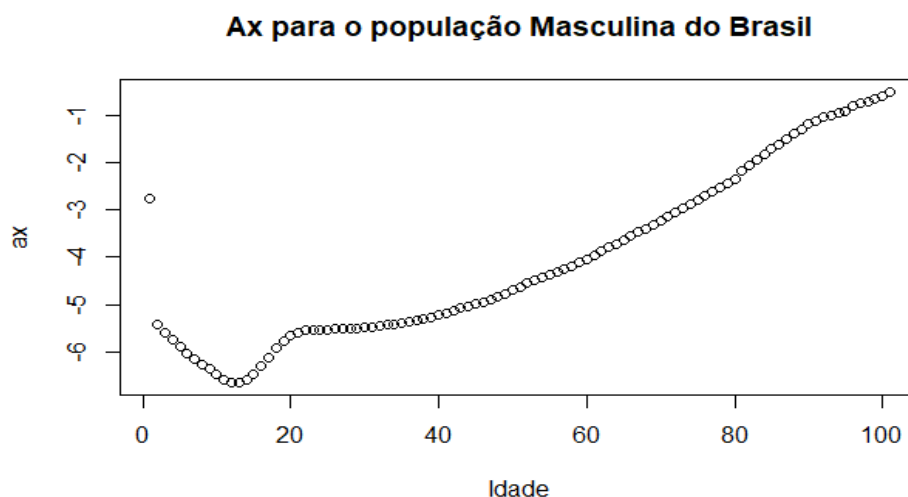
utilizando as mortalidades obtidas pelos dois métodos e analisando suas diferenças.

Com a aplicação dos métodos à mortalidade, espera-se que as taxas específicas de mortalidade diminuam, cada vez mais, em todos os grupos etários para homens e mulheres. Tendo em vista a evolução da mortalidade no Brasil, analisando todo o contexto apresentado neste trabalho, e também pela experiência já observada nos países desenvolvidos do mundo inteiro, que já estão em um estágio mais avançado da mortalidade.

4.1. Resultados Lee; Carter e PMD

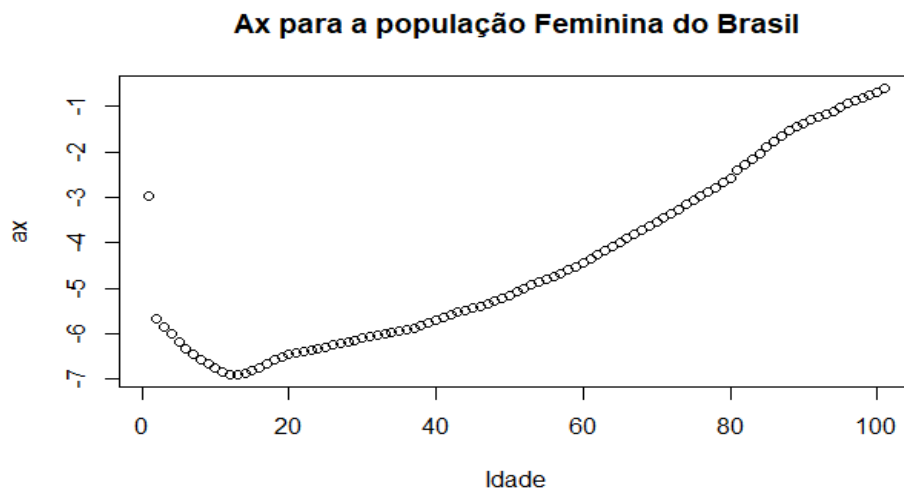
4.1.1 Gráficos a_x Lee; Carter

Gráfico 4 - Valores de a_x projetados para a população masculina do Brasil para cada grupo etário



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 5 - Valores de a_x projetados para a população feminina do Brasil para cada grupo etário

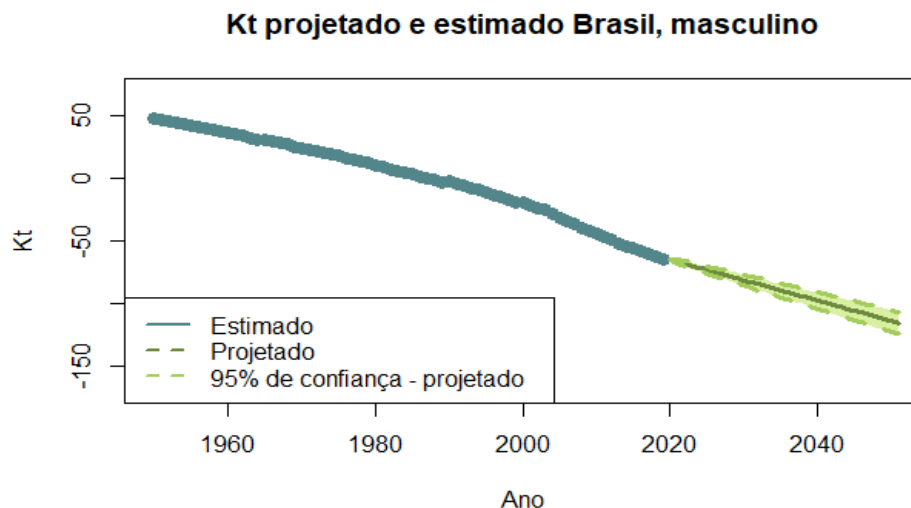


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Nos gráficos acima, é possível observar que o padrão médio da mortalidade para as idades específicas, a_x , começa alto (inicia no 0 e cai progressivamente até os 5 anos), devido à mortalidade infantil (mortes de recém-nascidos até o primeiro ano de vida). Essa taxa se manteve baixa até os 10 anos e começa a aumentar (como esperado, isto é, quanto maior a idade, maior a probabilidade de morte) gradativamente até o último grupo etário observado, 100 anos ou mais. É possível observar uma diferença nas curvas entre os sexos masculino e feminino por volta dos 20 anos de idade. Esse aumento da curva masculina é explicado pela sobremortalidade masculina, já demonstrada neste trabalho, principalmente pelas mortes de causas externas devido à histórica maior violência masculina.

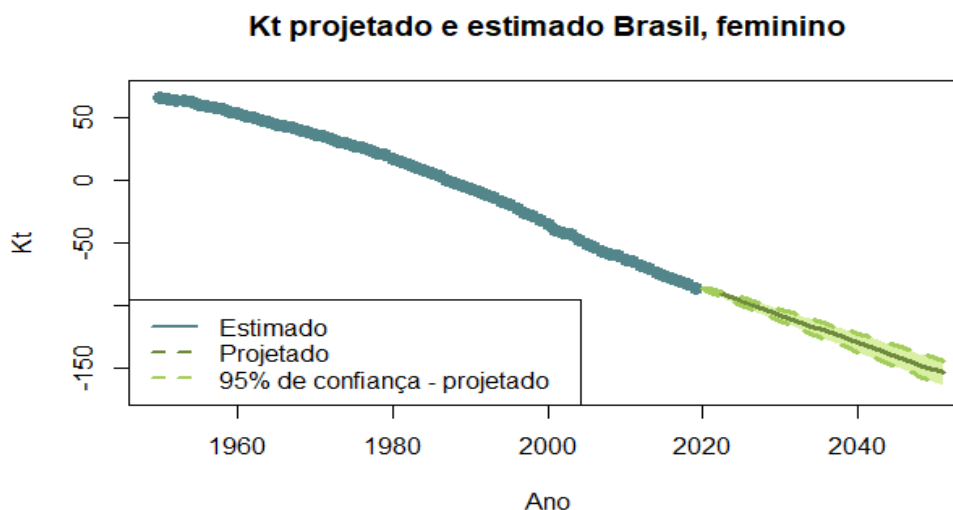
4.1.2. Gráficos dos K_t Lee-Carter

Gráfico 6 - Valores de K_t projetados para a população masculina ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 7 - Valores de K_t projetados para a população feminina ao longo do tempo

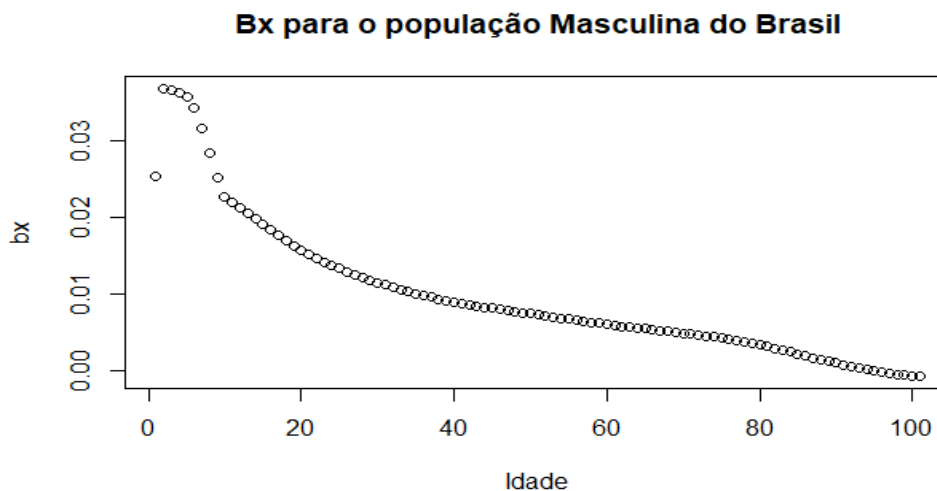


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O k_t , parâmetro que descreve a variação do nível de mortalidade para t , segue a mesma tendência de queda para ambos os sexos. Porém, a tendência feminina

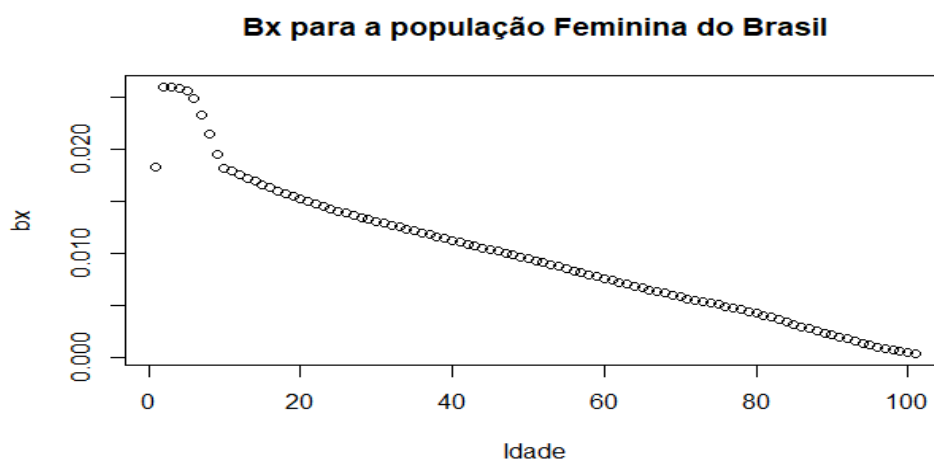
é de maior queda que a masculina, resultado esperado, tendo em vista o histórico da mortalidade no Brasil.

Gráfico 8 - Valores de b_x projetados para a população masculina para cada grupo etário



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 9 - Valores de b_x projetados para a população feminina para cada grupo etário



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

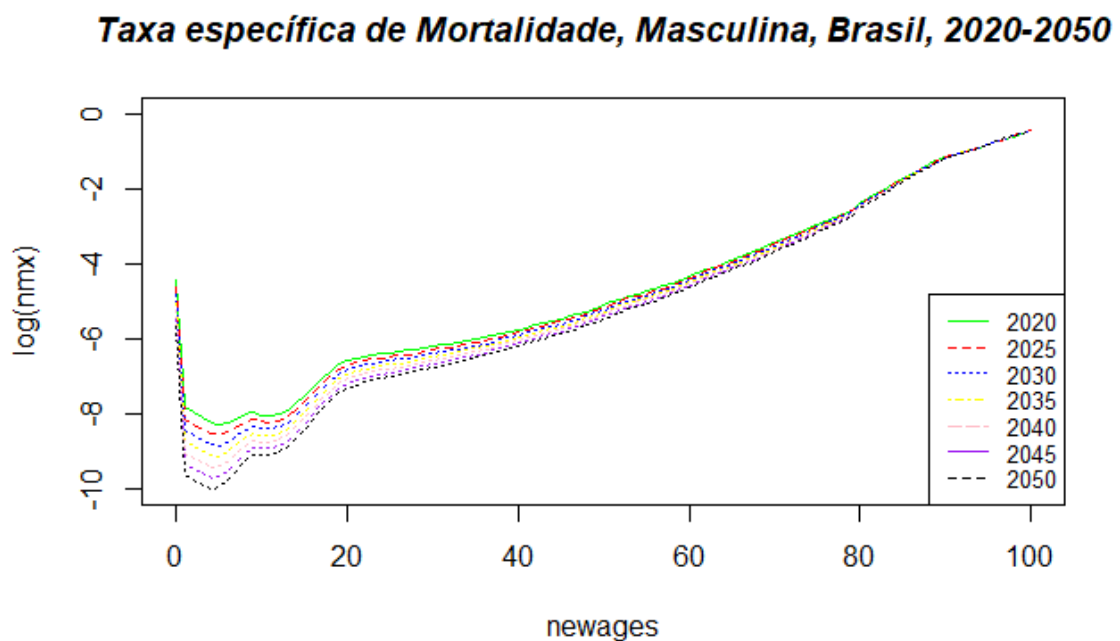
Ambos os gráficos mostram b_x majoritariamente em queda, apenas nas idades iniciais ele aumenta. Vale ressaltar a brusca queda entre as idades de 10 aos

15 anos de idade, para ambos os sexos. Após isso, μ_x se mantém em uma queda, praticamente, constante.

Os valores apresentam variações distintas para o sexo masculino e feminino, com particularidades para cada grupo de idade. Para as mulheres, o parâmetro fica entre 0 e 0,025, e, para os homens, esses valores estão entre 0 e 0,035.

4.1.3. Gráficos taxa específica de mortalidade

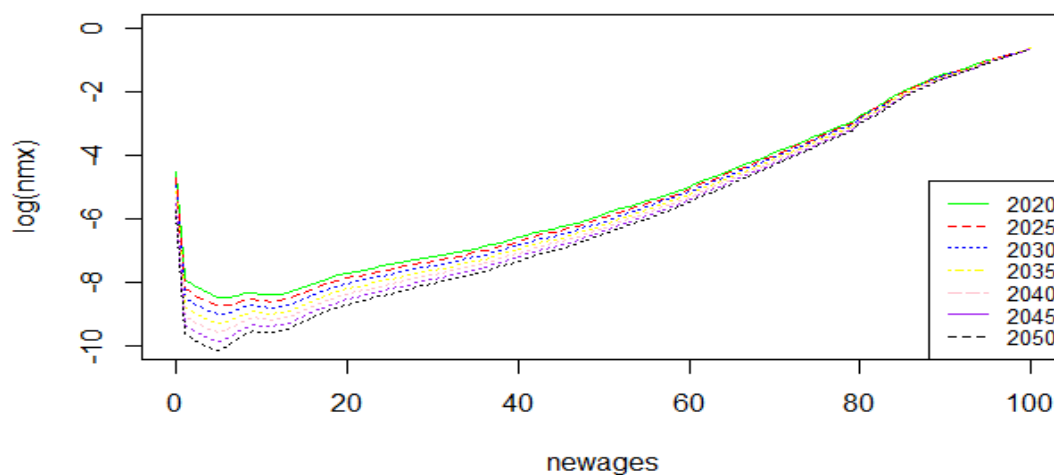
Gráfico 10 - Logaritmo das Taxas Específicas de Mortalidade Masculina para cada grupo etário Lee-Carter



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 11 - Logaritmo das Taxas Específicas de Mortalidade Feminina para cada grupo etário Lee-Carter

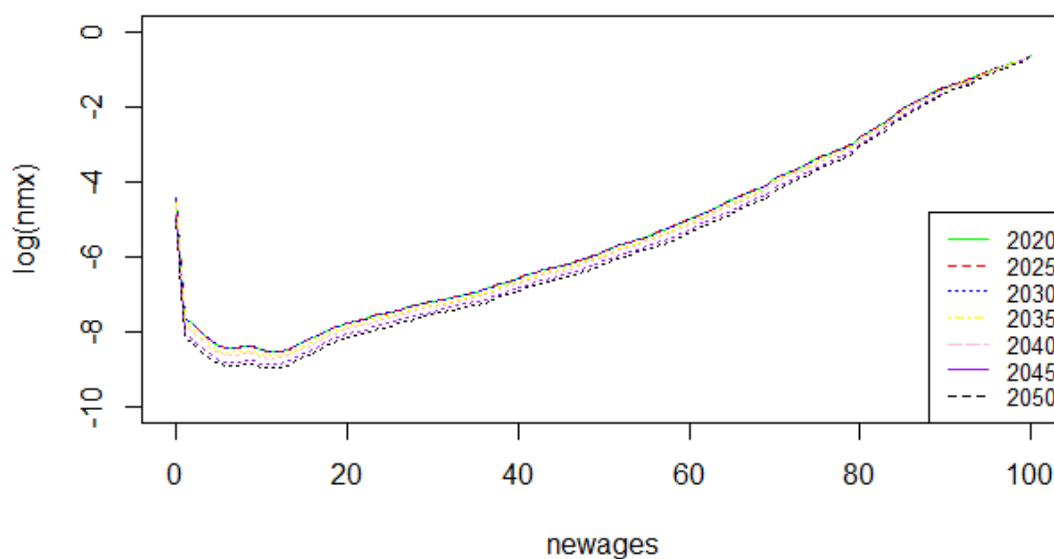
Taxa específica de Mortalidade, Feminina, Brasil, 2020-2050



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 12 - Logaritmo das Taxas Específicas de Mortalidade Masculina para cada grupo etário PMD

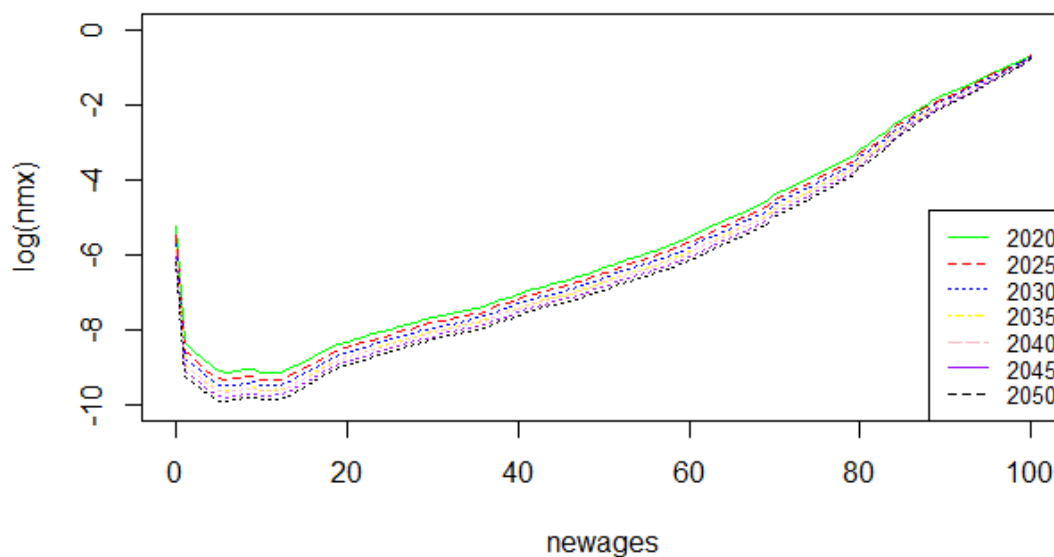
Taxa específica de Mortalidade, Masculina, Brasil, 2020-2050



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 13 - Logaritmo das Taxas Específicas de Mortalidade Feminina para cada grupo etário PMD

Taxa específica de Mortalidade, Feminina, Brasil, 2020-2050



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Pelos gráficos, observa-se que, ao longo dos anos, as taxas específicas de mortalidade caíram, para ambos os sexos. É possível observar também a tendência de se iniciar com a mortalidade alta, no caso das crianças até 1 ano de vida, e logo depois cair bruscamente. No caso dos homens, há a propensão esperada na faixa etária dos jovens-adultos, formando uma “barriguinha” no gráfico, devido ao aumento das taxas desse grupo. A partir desse fenômeno, as taxas diminuem um pouco, voltando a crescer conforme as idades aumentam, porém de forma mais suave. Para as mulheres, depois da queda das taxas para as crianças a partir do 1º ano de vida, elas voltam a crescer como conjecturado, de forma suave e constante ao longo das faixas etárias.

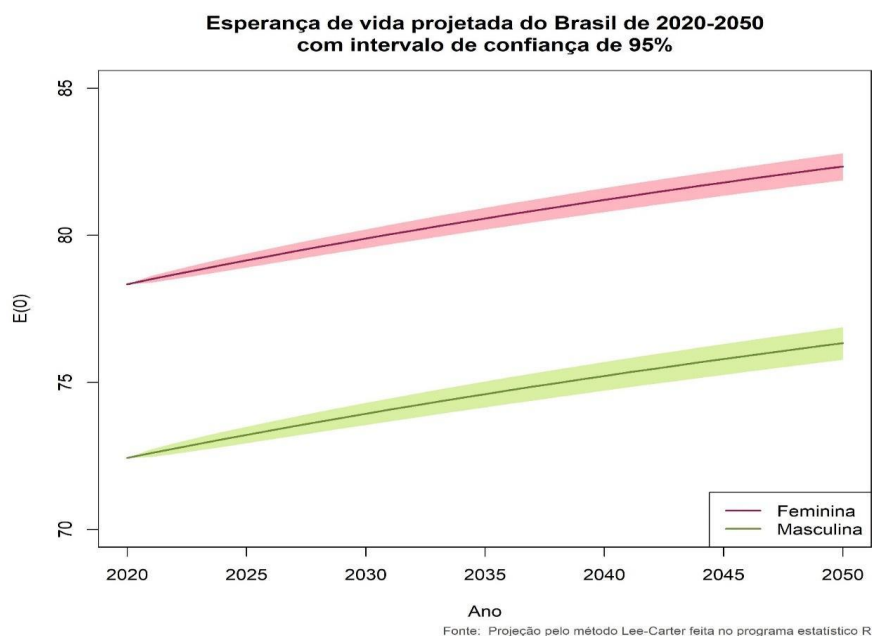
Ademais, é possível notar que 2020 prevalece em grande maioria das vezes com as maiores taxas, seguido por 2025, e, por fim, com a projeção de 2050. Isto é, é esperado que, conforme as décadas, seja por conta das várias causas já citadas neste trabalho, como: políticas públicas, melhorias da qualidade de vida no geral, avanço da medicina, as taxas do Brasil, tanto para as mulheres quanto

para os homens, diminuam. Contudo, observa-se também que a “barriguinha” supracitada no gráfico masculino é projetada maior do que os outros anos considerados.

Comparando os modelos, é possível observar que o comportamento dos dois é muito semelhante, sendo que no modelo Lee-Carter as mortalidades durante o passar dos anos se modificam mais, se comparada com o modelo PMD, principalmente nas idades mais jovens.

4.1.4. Gráficos da Esperança de Vida

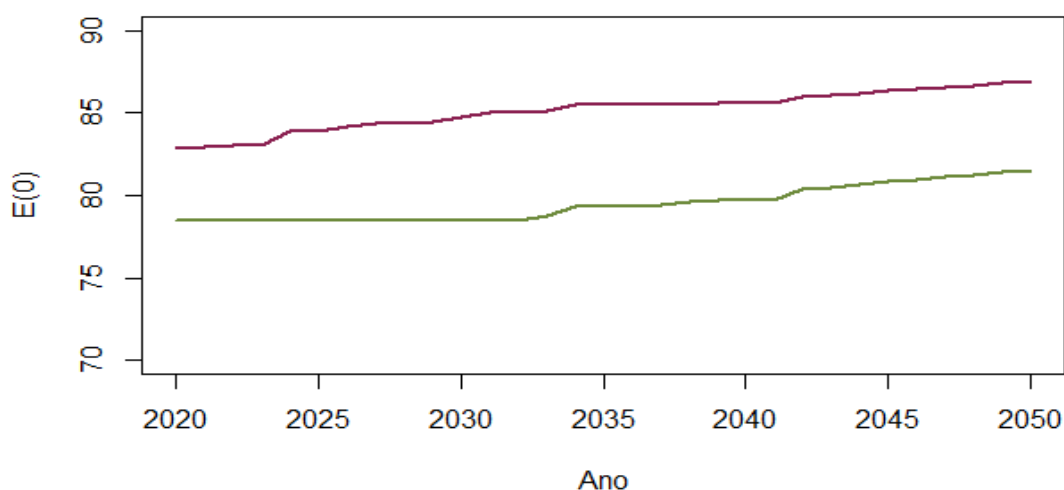
Gráfico 14 - Projeção das esperanças de vida com 95% de confiança, pelo método Lee-Carter



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 15 - Projeção das esperanças de vida, pelo método PMD

Esperança de vida projetada do Brasil de 2020-2050

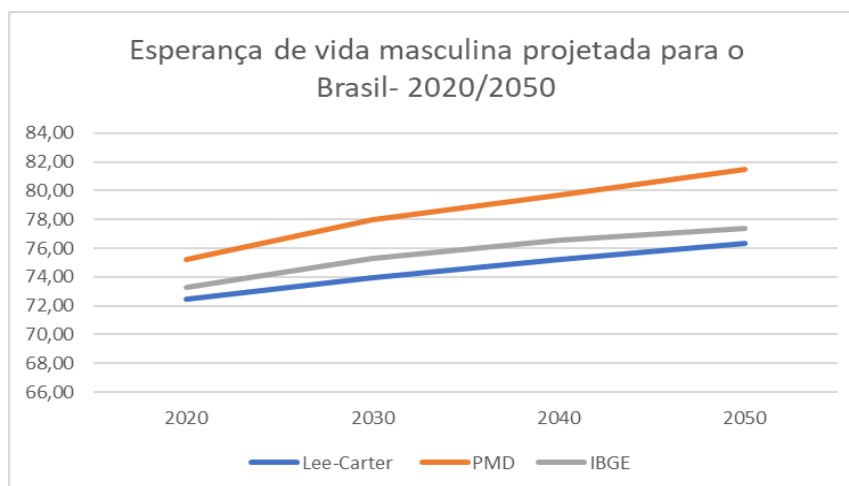


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Pela análise dos gráficos 14 e 15, é perceptível que as esperanças de vida projetadas pelo método Lee-Carter são inferiores às esperanças de vida obtidas pelo método PMD.

Além disso, têm-se que as esperanças de vida feminina são mais semelhantes que a masculina, tendo uma diferença de aproximadamente 4 anos. No final do intervalo projetado, verificam-se valores 82,34 na projeção usando Lee-Carter e 86,91 na projeção PMD, diferindo em 4,57 anos. Contudo, nota-se uma diferença maior entre as projeções masculinas – 76,33 na projeção usando Lee-Carter e 81,51 na projeção PMD, diferindo em 5,18 anos. Em 2050, de acordo com a projeção usando Lee-Carter, encontrou-se uma esperança de vida ao nascer de 79,59 anos, ao passo que, na projeção pelo método PMD, a esperança encontrada foi de 86,71 anos – apresentando uma diferença de 7,12 anos.

Gráfico 16 - Comparação das esperanças de vida masculina projetada para o Brasil - 2020/2050



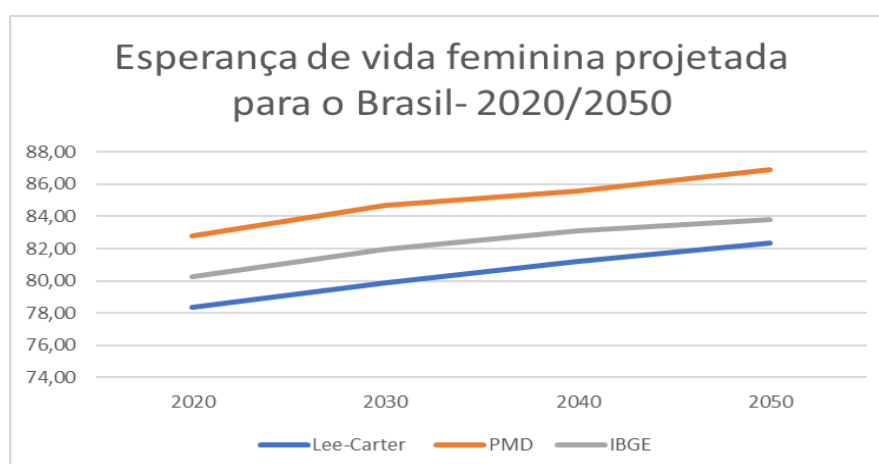
Fonte: Elaborado pelo autor com dados gerados nas projeções e dados do IBGE, 2018.

Tabela 1 - Esperanças de vida masculina projetada do Brasil- 2020/2050

Esperança de vida do Brasil- 2020/2050				
Sexo\Ano	2020	2030	2040	2050
Masculino- Lee-Carter	72,43	73,93	75,21	76,33
Maculino-PMD	75,24	78,02	79,73	81,52
IBGE	73,26	75,28	76,55	77,37

Fonte: Elaborado pelo autor com dados gerados nas projeções e dados do IBGE, 2018.

Gráfico 17 - Comparação das esperanças de vida feminina projetada para o Brasil- 2020/2050



Fonte: Elaborado pelo autor com dados gerados nas projeções e dados do IBGE, 2018.

Tabela 2 - Esperanças de vida feminina projetada do Brasil- 2020/2050

Esperança de vida do Brasil- 2020/2050				
Sexo\Ano	2020	2030	2040	2050
Feminina- Lee-Carter	78,33	79,88	81,20	82,34
Feminina-PMD	82,80	84,69	85,60	86,91
IBGE	80,25	82,00	83,11	83,81

Fonte: Elaborado pelo autor com dados gerados nas projeções e dados do IBGE, 2018.

Analisando as tabelas e os gráficos acima, observa-se que o modelo que gerou uma esperança de vida mais alta, em todo o período projetado, foi o PMD, tendo em vista que ele segue um padrão de mortalidade já definido e que neste caso foi o da França. Em seguida, a projeção feita pelo IBGE, que como já foi explicado neste trabalho utiliza uma projeção determinística em seus cálculos. Por fim, a que projeta a menor expectativa de vida é a utilizando o modelo Lee-Carter. O resultado obtido vai em desacordo com a linha de pensamento de Keilman (1997) e Lee; Tuljapurkar (2000, 1998a, 1998b), que demonstraram que a utilização da abordagem tradicional, sem a utilização da probabilidade, conduz a resultados subestimados. Além disso, percebe-se que a diferença entre os métodos utilizados é maior no sexo feminino do que no sexo masculino, principalmente, nos anos mais próximos das projeções.

4.2. Prêmio

Tabela 3 - Prêmio Pago por um beneficiário do sexo masculino de 40 anos para um seguro de vida toda

Prêmio pago por um beneficiário de 40 anos para um seguro vida toda com benefício de R\$1000				
Sexo\Ano	2020	2030	2040	2050
Masculino- Lee-Carter	R\$ 10,93	R\$ 10,29	R\$ 9,70	R\$ 9,17
Masculino-PMD	R\$ 9,59	R\$ 8,25	R\$ 7,47	R\$ 6,70
Diferença	R\$ 1,34	R\$ 2,04	R\$ 2,23	R\$ 2,47

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 4 - Prêmio Pago por um beneficiário do sexo feminino de 40 anos para um seguro de vida toda

Prêmio pago por um beneficiário de 40 anos para um seguro vida toda com benefício de R\$1000							
Sexo\Ano		2020		2030		2040	2050
Femino- Lee-Carter	R\$	7,69	R\$	7,10	R\$	6,59	R\$ 6,14
Feminino-PMD	R\$	5,99	R\$	5,33	R\$	5,03	R\$ 4,62
Diferença	R\$	1,70	R\$	1,77	R\$	1,56	R\$ 1,52

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Por fim, foi calculado o prêmio pago por um indivíduo de 40 anos para um seguro de vida toda com um benefício de 1000 reais, quando esse indivíduo morrer. Observa-se que tanto para o sexo feminino como para o sexo masculino o prêmio pago, utilizando as mortalidades do modelo Lee-Carter, é maior em todos os anos. Esse resultado era o esperado, tendo em vista que a mortalidade projetada no modelo Lee-Carter foi superior ao modelo PMD. Além disso, observa-se que a diferença entre os modelos é, majoritariamente, maior no sexo masculino, com exceção do primeiro ano projetado, 2020.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização das projeções deste trabalho, foram utilizados os métodos Lee-Carter e PMD. Esses dois métodos apresentam vantagens e desvantagens, se comparados com o método determinístico utilizado pelo IBGE. Em relação ao método Lee-Carter, citamos, como vantagem, a possibilidade de obtenção de intervalos de confiança para a mortalidade projetada e uma menor subjetividade na projeção, já que, no método determinístico, é necessária a utilização de uma tábua limite. Como desvantagem, tem-se a utilização das taxas de mortalidade observadas, já que pode gerar uma projeção sobrestimada ou subestimada, advindas das taxas do último ano base. Um exemplo disso foi a não utilização dos anos de 2020 e 2021 neste trabalho, devido à pandemia da covid-19. Quanto ao método PMD, podemos citar, como vantagem, a construção de tábuas de vida projetadas, incorporando padrões específicos de idade típicos com a melhoria da mortalidade. Como desvantagem, tem-se a grande subjetividade na

escolha do país para tomar como base a experiência da mortalidade e, assim, fazer a projeção incorporando essa experiência.

Por meio das projeções realizadas, foi possível observar a continuação da tendência de redução das taxas específicas de mortalidade para ambos os sexos e em todas as idades. Observou-se também, por meio das projeções das probabilidades de morte por grupo etário, que essas taxas aumentam consideravelmente, conforme o envelhecimento populacional. Subsequentemente, podem ser observadas as tendências da mortalidade ao longo dos anos com a utilização do método Lee-Carter de projeção. Isto é, como é esperado, as taxas de mortalidade começam altas devido à mortalidade infantil, seguida de uma queda brusca nas idades seguintes. Também foi possível analisar o fenômeno da “barriga” na faixa etária de jovens-adultos homens, devido ao grande número de mortes por causas externas nessas idades. Além disso, compararam-se as esperanças de vida entre homens e mulheres das projeções feitas com o modelo Lee-Carter e PMD com as esperanças projetadas pelo IBGE. Ao analisar essas projeções, verificamos que as expectativas de vida projetadas tanto pelo IBGE, que utiliza o modelo determinístico, como as expectativas de vida projetadas utilizando o PMD, apresentam esperanças de vida maiores se comparadas com o modelo Lee-Carter.

Por fim, ao analisar um impacto atuarial dessas projeções feitas no cálculo do prêmio pago por um segurado, vimos diferenças significativas no valor do prêmio. Essa diferença, em um primeiro momento, pode não ser muito significativa. Porém, se analisarmos que as obrigações de uma entidade de previdência complementar têm caráter longínquo, essas diferenças a longo prazo podem afetar, e muito, o cálculo das provisões dessa entidade e, conseqüentemente, sua solvência. Levando isso em consideração, é de suma importância considerar diferentes métodos nos cálculos atuariais, projetando diferentes cenários e assim definindo o que mais se ajusta à realidade da entidade. Com isso, os métodos que incorporam a incerteza, como o Lee-Carter, são muito importantes. Com ele conseguimos medir essa incerteza obtendo intervalos de confiança, podendo assim considerar diferentes cenários nos cálculos.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Paulo Roberto de. Economia Brasileira: desenvolvimento histórico e perspectivas. 2019. Disponível em: <https://www.institutomillennium.org.br/economia-brasileira-desenvolvimento-historico-e-perspectivas/>. Acesso em: 4 out 2022.
- ALVES, José Estácio Diniz. A Transição Demográfica nos 200 anos da Independência do Brasil, Ecodebate, 2018. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2018/09/05/a-transicao-demografica-nos-200-anos-da-independencia-do-brasil-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 23 set 2022.
- ALVES, José Estácio Diniz. Esperança de vida diante da emergência sanitária e climática, 2021. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=esperanca-de-vida-diante-da-emergencia-sanitaria-e-climatica>. Acesso em: 28 set 2022.
- ANDREEV, Kirill F; GUB, Danan; GERLAND, Patrick. Age Patterns of Mortality Improvement by Level of Life Expectancy at Birth with Applications to Mortality Projections. Disponível em: <https://paa2013.populationassociation.org/papers/132554>. Acesso em: 20 de nov. 2022.
- BOOTH, Heather, HYNDMAN, Rob J., TICKLE, LEONIE and JONG, Piet de. (2006) Lee-Carter mortality forecasting: a multi-country comparison of variants and extensions. Demographic Research, v. 15, n. 9, p. 289- 310, 2006;
- BOOTH, Heather, TICKLE, Leonie and SMITH, Len (2005) Evaluation of the Variants of the Lee-Carter Method of Forecasting Mortality: A Multi-Country Comparison. New Zealand Population Review, 31(1):13-34, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230676927_Evaluation_of_the_Variants_of_the_Lee-Carter_Method_of_Forecasting_Mortality_A_Multi-Country_Comparison;
- BOOTH, Heather., MAINDONALD, John. and SMITH, Len, (2002) Applying Lee-Carter under conditions of variable mortality decline, Population Studies 56(3), 325–336, 2002.
- BOWERS, N.; GERBER, H.; HICKMAN, J.; JONES, D.; NESBITT, C. (1997). Actuarial Mathematics, 2nd ed. The Society of Actuaries.
- BRAVO, J. M. Tábuas de mortalidade contemporâneas e prospectivas: Modelos estocásticos, aplicações actuariais e cobertura do risco de longevidade. Universidade de Évora, Évora (2007).
- BRITO, F. A transição demográfica no Brasil: As possibilidades e os desafios para a economia e a sociedade. Belo Horizonte, UFMG/Cedeplar, 2007.
- CALAZANS, Júlia Almeida; QUEIROZ, Bernardo Lanza. The adult mortality profile by cause of death in 10 Latin American countries (2000–2016). Revista panamericana de salud publica 44 (2020): e1.
- CAMARGOS, M. C. S.; RODRIGUES, R. N.; MACHADO, C. J. Expectativa de vida saudável para idosos brasileiros, 1998 e 2003. In: ENCONTRO NACIONAL

DE ESTUDOS POPULACIONAIS DA ABEP, 11., 2006, Caxambu, Anais... Caxambu, MG: ABEP, 2006.

CARVALHO, J. A. M.; WONG, L. L. R. A Transição da Estrutura Etária da População Brasileira na Primeira Metade do Século XXI. Cadernos de Saúde Pública (FIOCRUZ), v. 24, 2008. p. 597-605.

CARVALHO, José Alberto Magno de. Crescimento populacional e estrutura demográfica no Brasil. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, 2004. (Texto para discussão nº 227.)

CARVALHO, José Alberto Magno de; GARCIA, Ricardo Alexandrino. O envelhecimento da população brasileira: um enfoque demográfico. Cadernos de Saúde Pública 19 (2003): 725-733.

CASTRO E SILVA, L.; ALBUQUERQUE, F. Tendências dos níveis e padrões de mortalidade e seus diferenciais regionais no período 2000-2030: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Mudança demográfica do Brasil no início do século XXI. IBGE, Rio de Janeiro, 2015.

COUNTRYECONOMY. França - Esperança de vida ao nascer. 2021. Disponível em: <https://pt.countryeconomy.com/demografia/esperanca-vida/franca>. Acesso em: 4 set 2022.

DE CASTRO E SILVA, L. G. Projeções dos níveis e padrões da mortalidade no Brasil e grandes regiões 1950-2010-2110 pelo método coerente leecarter estendido e outros: a tábua brgeracional e o risco de longevidade nas instituições previdenciárias do país. Universidade Federa de Minas Gerais, Cedeplar (2019).

DE CASTRO, Luciano Gonçalves. Projeções dos níveis e padrões da mortalidade no Brasil e grandes regiões 1950-2010-2110 pelo método coerente Lee-Carter estendido e outros: a tábua BR-Geracional e o risco de longevidade nas instituições previdenciárias do país. (2019).

DIAZ, Gisou; DEBÓN, Ana; GINER-BOSCH, Vicent. Mortality forecasting in Colombia from abridged life tables by sex. Genus - Journal of Population Sciences, v. 74, n. 15, 2018.

DICKSON, D.; HARDY, M.; WATERS, H. (2013). Actuarial Mathematics for Life Contingent Risk. Second edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK. R Core Team (2019).

EDWARDS, R. D.; TULJAPURKAR, S. Inequality in life spans and a new perspective on mortality industrialized countries. Population and Development Review, New York, v. 31, n. 4, p. 645-674, Dec. 2005.

EMBRAPA. Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>. Acesso em: 20 nov 2022.

ESTADÃO. Conheça a história da Saúde Pública no Brasil. 2019. Disponível em: <https://summitsaude.estadao.com.br/desafios-no-brasil/conheca-a-historia-da-saude-publica-no-brasil/>. Acesso em: 8 out 2022.

FÍGOLI, Moema G. Bueno. Modelando e projetando a mortalidade no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos de População* 15.1 (1998): 95-113.

G1. Sem considerar pandemia, IBGE calcula a expectativa de vida do brasileiro em 76,8 anos em 2020. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/saude/noticia/2021/11/25/expectativa-de-vida-do-brasileiro-ao-nascer-foi-de-768-anos-em-2020-diz-ibge.ghtml>. Acesso em: 20 out 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Em 2019, expectativa de vida era de 76,6 anos. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/29502-em-2019-expectativa-de-vida-era-de-76-6-anos>. Acesso em: 20 set 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Tábuas Completas de Mortalidade – Conceitos e Métodos. 2021. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9126-tabuas-completas-de-mortalidade.html?=&t=conceitos-e-metodos>. Acesso em: 20 set 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Observações sobre a evolução da mortalidade no Brasil: o passado, o presente e perspectivas. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/tabuadevida/2009/notastecnicas.pdf>. Acesso em: 12 out 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Projeções da População: Tabelas. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 20 out 2022.

KANSO, Solange. Compressão da mortalidade no Brasil. Novo regime demográfico: uma nova relação entre população e desenvolvimento (2014): 155-175.

KEILMAN, Nico. Ex-Post Errors in Official Population Forecasts in Industrialized Countries. *Journal of Official Statistics*, v. 13, n. 3, p. 245–277, 1997.

KEILMAN, Nico; PHAM, Dinh Quang; HETLAND, Arve. Why population forecasts should be probabilistic - illustrated by the case of Norway. *Demographic Research*, v. 6, n. 15, p. 409– 454, 2002.

LASMAR, Marcos Paulo Ferreira; SIVIERO, Pamila Cristina Lima. Níveis e padrões da mortalidade brasileira e suas macrorregiões: uma análise com base em indicadores demográficos entre 2000 e 2010. *revista debate econômico*, v.6, n.1, jan-jun. 2018.

LEE, Ronald Demos; CARTER, Lawrence R. Modeling and Forecasting U.S. Mortality. *Journal of the American Statistical Association*, v. 87, n. 419, p. 659–671, 1992.

LEE, Ronald Demos; MILLER, Timothy. Evaluating the performance of the lee-carter method for forecasting mortality. *Demography*, v. 38, n. 4, p. 537–549, 2001.

LEE, Ronald Demos; TULJAPURKAR, Shripad. Death and Taxes: Longer Life, Consumption, and Social Security. *Demography*, v. 34, n. 1, p. 67–81, 1997.

LEE, Ronald Demos; TULJAPURKAR, Shripad. Population Forecasting for Fiscal Planning: Issues and Innovations. Center for the Economics and Demography of Aging. UC Berkeley: Center on the Economics and Demography of Aging, 2000. Disponível em: <http://escholarship.org/uc/item/7n02r268>.

LEE, Ronald Demos; TULJAPURKAR, Shripad. Stochastic Forecasts for Social Security. In: *Frontiers in the Economics of Aging*. The University of Chicago Press, 1998: David A. Wise (ed.), 1998a, p. 393–428.

LEE, Ronald Demos; TULJAPURKAR, Shripad. Stochastic population forecasts for the United States: beyond high, medium, and low. *Journal of the American Statistical Association*, v. 89, n. 428, p. 1175–1189, 1994.

LEE, Ronald Demos; TULJAPURKAR, Shripad. Uncertain Demographic Futures and Social Security Finances. *The American Economic Review*, v. 88, n. 2, p. 237–241, 1998b

LIGA DE CIÊNCIAS ATUARIAIS (LCA). Passe no IBA: questões comentadas. 2020. Disponível em: <https://atuaria.org/passenoiba/>. Acesso em: 20 Out 2022.

LIMA-COSTA, Maria Fernanda; VERAS, Renato. Saúde pública e envelhecimento. *Cad. Saúde Pública* 19 (3) Jun 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/QcPXW7P53YFKBqQjxqF3rrs/?lang=pt>. Acesso em: 01 nov. 2022.

NEPOMUCENO, Erivelton Geraldo. Sistema de equações lineares. 2016. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/nepomuceno/mn/08MN_SL6.pdf. Acesso em: 2 set 2022.

OLIVEIRA, J. C.; ALBUQUERQUE, F. R. P. C. A mortalidade no Brasil no período 1980-2004: desafios e oportunidades para os próximos anos. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.

ORTEGA, Antonio. *Tablas de Mortalidad*. San José, Costa Rica: Centro Latinoamericano de Demografia, 1987.

PENDLETON, B. F. & YANG, S., 1985. Socioeconomic and health effects on mortality declines in developing countries. *Social Science and Medicine*, 20: 453-460.

PRATA, P. R. A Transição epidemiológica no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p.168-175, abr./jun. 1992.

RAFTERY, Adrian; LALIC, Nevena; GERLAND, Patrick. Joint probabilistic projection of female and male life expectancy. *Demographic Research*, v. 30, n. 27, p. 795–822, 2014.

SANTOS, Raquel Rodrigues. Técnicas de modelagem do improvement para construção de tábuas geracionais. Rio de Janeiro: 2007. Dissertação (Mestrado

em Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SCHRAMM, J.; OLIVEIRA, A.; LEITE, I.; VALENTE, J.; GADELHA, A.; PORTELA, M.; CAMPOS, M. Transição epidemiológica e o estudo de carga de doença no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 9, n. 4, p. 897-908, 2004

SILVA, Fabiana Lopes da. Impacto do risco de longevidade em planos de previdência complementar. 2002. Diss. Universidade de São Paulo, 2010.

SILVA, Flávia Sommerlatte. Tendências e projeção da mortalidade do município de São Paulo – 1920 a 2100. 2009. Dissertação Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVIA, G. A.; JARDIM, B. C.; SANTOS, C. V. B. D. (2020). Excesso de mortalidade no Brasil em tempos de COVID-19. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25, 3345-3354.

SOARES, Jean. A importância da evolução da medicina para a longevidade aliada à especialização de médicos. 2021. Disponível em: <https://abmae.com.br/a-importancia-da-evolucao-da-medicina-para-a-longevidade-aliada-a-especializacao-de-medicos/>. Acesso em: 07 agosto 2022.

SOARES, Rodrigo R. On the determinants of mortality reductions in the developing world. *Population and Development Review* 33.2 (2007): 247-287.

SOUZA, E. R. et al. Estudo multicêntrico da mortalidade por homicídios em países da América Latina. *Ciência & saúde coletiva*, v. 17, n. 12, p. 3.183-3.193, 2012.

SOUZA, Maria de Fátima Marinho de *et al.* The adult mortality profile by cause of death in 10 Latin American countries (2000–2016). *Ciênc. saúde colet.* 23 (6) Jun 2018. DOI: 10.1590/1413-81232018236.04822018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/dmmccQkyjbrC9HLkBdTkjnG/?lang=pt>. Acesso em: 06 nov. 2022.

VANZELLA, Elídio. O envelhecimento, a transição epidemiológica, da população brasileira, e impacto nas internações no âmbito do SUS. *EDUCERE (REF FAESNE) –João Pessoa - VOL. X – Nº 2 – Jul/Dez. 2019.*

VASCONCELOS, Ana Maria Nogales; GOMES, Marília Miranda Forte. Transição demográfica: a experiência brasileira. *Epidemiol. Serv. Saúde* v.21 n.4 Brasília dez. 2012. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742012000400003. Acesso em: 03 nov. 2022.

WACHTER, Kenneth W. Between Zeus and the Salmon: Introduction. In: *Between Zeus and the Salmon: The Biodemography of Longevity*. NAP - National Academy Press, Washington, D.C. 1997: Kenneth W. Wachter and Caleb E. Finch (eds.), 1997, p. 1–16.

WOOD, C. H. & CARVALHO, J. A. M., 1988. *The Demography of Inequality in Brazil*. Cambridge: Cambridge University Press.

WOOD, C. H. & CARVALHO, J. A. M., 1994. *A demografia da desigualdade no Brasil*. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em:

<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-468269>. Acesso em: 03 set 2022.