
A Relação entre o Risco Climático e o Risco de Crédito: Evidência para os Estados Unidos e para a Europa

Luís Pedro Moreira Ribeiro

Dissertação
Mestrado em Economia

Orientado por
Carlos Francisco Alves

2024

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, por todo o sacrifício e dedicação durante toda a minha vida pessoal e profissional. Sem vocês não seria o que sou hoje, vocês são a minha maior fonte de inspiração. Ao meu melhor amigo, Iker, por ser a minha eterna companhia.

Uma palavra de agradecimento ao professor Carlos Alves, por todas as orientações e apoio durante este trabalho.

Por último, uma citação de um poema que me marcou pela vida:

*“The sluggard believes he shall live forever,
If the fight he faces not;
But age shall not grant him the gift of peace,
Though spears may spare his life.”*

Hávamál, verso 16

Resumo: Ao longo dos últimos anos, as alterações climáticas e riscos decorrentes têm entrado frequentemente na ordem do dia. O presente trabalho passa por perceber o impacto desses riscos climáticos no setor financeiro, nomeadamente no risco de crédito das empresas cotadas da Europa e Estados Unidos. Para tal, é utilizado o índice SP500 para empresas Norte-Americanas e o índice STOXX600 para empresas Europeias, aplicando 3 modelos distintos na avaliação do risco de crédito: Modelo de Merton, Altman Z-Score e o Z-Score, com o objetivo de confirmar a aderência dos resultados em modelos distintos. Através de uma amostra de dados em painel de 4021 observações, chegamos à conclusão de que quanto maior o nível relativo de emissões, maior a probabilidade de incumprimento da empresa, e por isso, um maior risco climático traduz-se num maior risco de crédito. Ademais, os resultados mantêm-se robustos após a estimação dos modelos alternativos e após o tratamento da endogeneidade.

Códigos JEL: G21, G33, P48, Q54

Palavras-chave: Risco Climático, Risco de Crédito, Emissões, Modelo de Merton, Altman Z-Score, Z-Score

Abstract: Over the last few years, climate change and the resulting risks have commonly become a topic of discussion. This dissertation aims to understand the impact of these climate risks on the financial sector, specifically on the credit risk of publicly traded companies in Europe and the United States. To this end, the SP500 index is used for North American companies and the STOXX600 index for European companies, applying three distinct models in the evaluation of credit risk: the Merton Model, the Altman Z-Score, and the Z-Score, with the goal of confirming the consistency of results across the different models. Through a panel data sample of 4021 observations, we conclude that the higher the relative level of emissions, the greater the probability of company default, and thus a higher climate risk translates into higher credit risk. This result remains robust after taking into consideration the alternative models and after addressing endogeneity.

JEL Codes: G21, G33, P48, Q54

Keywords: Climate Risk, Credit Risk, Emissions, Merton Model, Altman Z-Score, Z-Score

Índice

1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura e Desenvolvimento de Hipóteses	4
2.1. Enquadramento do Risco Climático	4
2.1.1. Medidas de Risco Climático	5
2.2. Enquadramento do Risco de Crédito	7
2.3. Revisão Metodológica	9
2.3.1. Modelo de Merton	9
2.3.2. Altman Z-Score	10
2.3.3. Z-Score	11
2.3.4. Limitações dos Modelos Utilizados	12
3. Metodologia	13
3.1. Modelo de Merton	13
3.2. Altman Z-Score	14
3.3. Z-Score	16
3.4. Modelo de Estimação	17
3.5. Variáveis Utilizadas	18
3.6. Dados	20
4. Resultados	21
4.1. Estatísticas Descritivas	21
4.2. Resultados dos Modelos de Estimação	22
4.2.1. Modelo de Merton	23
4.2.2. Modelos Alternativos	26
5. Testes de Robustez	29
6. Conclusão	31
Referências	33
Anexos	39

Índice de Tabelas

Tabela 1: Estatísticas Descritivas	21
Tabela 2: Matriz de Correlações	22
Tabela 3: Resultados Modelo de Merton	23
Tabela 4: Resultados dos Modelos Alternativos	26
Tabela 5: Tratamento da Endogeneidade	29

1. Introdução

Ao longo dos últimos anos, a preocupação com as alterações climáticas tem entrado cada vez mais na ordem do dia. De acordo com a *Intergovernmental Panel For Climate Change* (2014), o risco climático define-se como a maior probabilidade de ocorrência de consequências adversas sobre a vida humana e animal, ecossistemas, sobre a economia e infraestruturas. A *World Meteorological Organization*, no seu relatório anual para 2022, estima que a Terra tenha aquecido 1,15°C desde a revolução industrial, o que tem afetado todas as frentes da economia global, desde as infraestruturas, agricultura, produtividade até ao sistema financeiro. O mesmo relatório refere ainda que períodos de seca, cheias e vagas de calor se têm tornado cada vez mais comuns por todo o mundo. Existem, assim, muitos setores de atividade e negócios fortemente expostos aos riscos climáticos, riscos estes que podem adquirir duas formas: riscos físicos e riscos de transição. Segundo a *Network for Greening the Financial System* (NGFS, 2019), os riscos físicos estão associados aos efeitos físicos das alterações climáticas nos negócios, como as cheias, incêndios e furacões, enquanto, por sua vez, os riscos de transição estão associados à transição para uma economia menos intensiva em carbono (por exemplo, custos com investigação e desenvolvimento ou impostos sobre o carbono).

No primeiro relatório anual sobre exposição do setor bancário ao risco climático, publicado pelo Banco de Portugal (BDP, 2023), a instituição assinala que a atividade empresarial pode ser afetada por uma interação simultânea entre riscos de transição e riscos físicos, e, dessa forma, as empresas podem ter a sua solvência afetada por ambos. Campino (2023) por sua vez, afirma que o risco de transição tem um impacto marginal mais pronunciado no risco de crédito das carteiras soberanas, e por isso, os resultados indicam que à medida que o mundo toma medidas para diminuir as emissões de carbono, o risco de crédito das carteiras soberanas pode ser exponenciado, se existirem atrasos e falta de coordenação entre países.

O risco climático difere de outras fontes de risco porque é *forward-looking* (uma vez que não pode ser inferido de dados históricos) e apresenta impactos globais, caracterizado por uma elevada incerteza (dado que é impossível prever onde, quando e em que magnitude vai acontecer), não-linearidade e endogeneidade, com um horizonte temporal alargado (impactos ao longo de vinte, trinta anos).

O Basle Committee on Banking Supervision (1999) define que o risco de crédito ocorre quando o devedor falha em cumprir as suas obrigações financeiras junto do credor ou falha em fazê-lo em tempo devido. A questão passa por perceber em que medida o risco de crédito é influenciado pelo risco climático. Sabemos que o fardo destes riscos físicos e de transição acaba por ser suportado pelas empresas, e em última análise, pelos consumidores. Estes riscos traduzem-se em custos que levam a um aumento da despesa e diminuição da receita, o que causa impactos no *cash flow*, de ambos consumidores e empresas, o que pode levar a uma substancial reavaliação do valor dos ativos, que por sua via tem impacto direto na riqueza (Monnin, 2018). A mesma conclusão é alcançada no estudo do Banco de Portugal (2023), em que a maior prevalência de fenómenos climáticos extremos coloca em causa a rendibilidade e resiliência do setor financeiro, por via da desvalorização de ativos que servem como colaterais. Assim, regra geral, uma redução dos *cash flows* e uma redução do valor dos ativos (diminuição do valor do colateral) diminui a capacidade dos agentes para gerirem dívida, o que é uma fonte de risco de crédito. Para além disso, Alves & Meneses (2024) sustentam que empresas com estratégias ambientais melhores experienciam um retorno nas suas ações superior ao de empresas com estratégias mais fracas, e, ao mesmo tempo, empresas com uma melhor performance ESG tendem a beneficiar de um menor custo de dívida.

Este trabalho pretende contribuir para a literatura existente ao aplicar o modelo de Merton (Merton, 1974) à análise do risco de crédito para um conjunto de empresas Europeias e Norte-Americanas, através do STOXX600 no caso Europeu e do S&P500 no caso Americano, relacionando este resultado com as emissões de cada empresa. O que se pretende posteriormente é analisar em que medida as empresas com maiores emissões de carbono estão ou não mais próximas de incumprimento, uma vez que, segundo o Banco de Portugal (2023) os riscos associados às alterações climáticas têm o potencial de influenciar a rendibilidade e resiliência do setor financeiro (via, por exemplo, desvalorização de ativos), que pode levar a uma crise financeira. Ao mesmo tempo, são incluídas mais duas medidas de risco, Altman (1968) e o Z-Score para testar em que medida os resultados obtidos do modelo de Merton são consistentes com outras medidas de risco. Na literatura (Capasso et al., 2020; Ehlers et al., 2022) é utilizado, normalmente, apenas um modelo de avaliação de risco para apenas um conjunto de empresas. O objetivo com a introdução da análise a empresas tanto Americanas como Europeias passa por tentar captar as diferenças em termos de organização financeira em cada bloco: enquanto que, por um lado, o sistema financeiro Europeu está

mais baseado em empréstimos bancários (que ajudam a resolver os problemas de agência (Chakraborty & Ray, 2006)), o sistema financeiro Americano baseia-se mais nos mercados de capital. Isto torna-se relevante porque, como argumentado por Bats & Houben (2020), sistemas financeiros baseados em empréstimos bancários vêm aumentando o seu risco sistémico, mas por outro lado, como demonstrado por Alves & Meneses (2024), o impacto negativo do score ESG (Environmental, Social e Governance) sobre o custo da dívida das empresas (ou seja, quanto maior o score, menor o custo da dívida) é menor em sistemas baseados em mercados.

O trabalho será organizado da seguinte forma: secção 1 para a introdução, secção 2 para a revisão de literatura e desenvolvimento de hipóteses, secção 3 para apresentação da metodologia e dados utilizados, secção 4 para análise de resultados, secção 5 para testes de hipóteses e secção 6 para conclusão.

2. Revisão de Literatura e Desenvolvimento de Hipóteses

2.1. Enquadramento do Risco Climático

As alterações climáticas têm impactos na economia por duas vias, direta e indireta (Giuzio et al., 2019). Se, pela via direta, começamos nos últimos anos a ter cada vez uma maior preponderância de fenómenos climáticos extremos, que afetam diretamente setores como a agricultura e o turismo, temos também, por outro lado e de forma indireta, impactos sobre o setor bancário e as seguradoras. No seu relatório anual sobre a exposição do setor bancário ao risco climático do BDP (2023), a instituição afirma que existe uma elevada complexidade associada aos mecanismos de transmissão das alterações climáticas para a economia real. Assim, o risco climático apresenta consequências para as instituições de crédito e para o sistema financeiro como um todo.

De acordo com a *Network for Greening the Financial System* (2019), estes riscos entram essencialmente em duas categorias:

- 1) **Riscos Físicos:** que incluem os custos e perdas financeiras decorrentes de uma maior preponderância de fenómenos climáticos extremos, como vagas de calor (cada vez mais comuns no Norte da Europa, onde até então eram relativamente raras), cheias, fogos, tempestades (designados por riscos agudos), ou associados à subida do nível das águas do mar ou mudanças de temperatura (designados por riscos crónicos). Pointner & Ritzberger-Grünwald (2019) referem que estes riscos assentam quer do lado da procura, quer do lado da oferta. Do lado da oferta, uma temperatura superior tem impactos na saúde dos trabalhadores e na sua produtividade, enquanto eventos extremos podem acelerar a depreciação dos ativos, afetando o crescimento económico. Do lado da procura, maiores gastos em reparações e substituições de ativos reduz o consumo e investimento, afetando também por essa via o crescimento económico;
- 2) **Riscos de Transição:** incluem custos de ajustamento para uma economia menos intensiva em carbono, uma vez que ficou acordado no Acordo de Paris (2015) que os países da União Europeia se comprometiam a alcançar emissões neutras em carbono até 2050. De facto, após o Acordo de Paris, empresas mais expostas ao risco de transição viram os seus ratings de crédito deteriorar, com maior impacto na Europa que nos Estados Unidos, o que, segundo Carbone et al. (2021) se deve a expectativas diferentes quanto à ação climática. De acordo com o Banco de Portugal

(2023), estes custos podem ser relativos à adoção de medidas de fixação de limites de carbono, alterações tecnológicas necessárias à transição e alterações nas preferências dos consumidores.

Assim, segundo a mesma referência (BDP, 2023), as alterações climáticas influenciam rendibilidade e resiliência do setor financeiro e em especial das instituições de crédito por via de canais de transmissão micro (desvalorização de ativos, custos legais e de *compliance*) e macroeconómica (produtividade laboral e PIB). O sistema financeiro no geral e o sistema bancário em particular estão sujeitos ao risco de transição, que está por sua vez dependente das suas decisões de investimento e na sua capacidade e velocidade de ajustamento (Roncoroni et al., 2021). Segundo a NGFS (2019), esta transição pode ocorrer de forma ordeira ou desordeira. De uma forma ordeira significa que as políticas ambientais para descarbonizar a economia são introduzidas de forma célere e eficaz, com coordenação entre países, o que permite aos investidores anteciparem as políticas através de um “*pricing in*” nas suas estratégias de avaliação de risco, enquanto, por outro lado, uma transição de forma desordeira refere-se não só à forma como as políticas são implementadas, mas também da forma como o mercado reage. Se são introduzidas de forma desorganizada e atrasada, os investidores podem não ser capazes de antecipar estas decisões e, assim, tornam-se incapazes de “*price in*” estas decisões nas suas estratégias de risco. O problema com isto é o facto de que, se as alterações forem abruptas e não comunicadas previamente, pode resultar numa “*fire sale*” dos ativos, o que despoleta uma crise financeira (Battiston et al., 2017), particularmente se todos os ativos que emitam Co2 forem sujeitos a uma regulação apertada. O resultado, quer destes riscos físicos quer dos riscos de transição, é um maior risco de crédito.

2.1.1. Medidas de Risco Climático

A literatura parece convergir para a conclusão de que uma melhor performance ambiental (maiores níveis de sustentabilidade ambiental) está associada a uma diminuição do risco de crédito (Ramos-García et al., 2023). Inicialmente, quando se começaram a perceber as implicações que as alterações climáticas podiam exercer sobre o sistema financeiro, a medida de risco climático utilizada era o spread entre as “*green bonds*” e as “*conventional bonds*” (obrigações convencionais). Ehlers & Packer (2017), por exemplo, descobrem um “*green premium*” positivo, o que significa que as “*green bonds*” eram mais atrativas para os investidores

do que as obrigações convencionais. Por outro lado, mais recentemente, Balvers et al. (2017) utilizam como variável climática os choques de temperatura, aplicados a um modelo de Asset Pricing Theory (APT), e neste caso o prêmio de risco é significativamente negativo (os portfólios de ativos em indústrias mais vulneráveis apresentam resultados inferiores quando enfrentam choques de temperatura). Bansal et al. (2019), num estudo semelhante, proporciona evidência de que as anomalias de temperatura são uma fonte de riscos económicos de longo prazo e revela a importância de os mercados de capital adquirirem uma perspectiva *forward-looking*.

No entanto, a literatura mais recente tem-se focado essencialmente nas emissões de carbono das empresas (Ramos-García et al., 2023), uma vez que é a única forma de relacionar o comportamento específico da empresa em termos ambientais com o seu risco de crédito, e dessa forma extrapolar mais diretamente as consequências para o sistema financeiro. Exemplos da utilização das emissões como variável climática são os estudos de Capasso et al. (2020), Ehlers et al. (2022), Safiullah et al. (2021). Estes trabalhos concluem que, *ceteris paribus*, empresas com maiores níveis de emissões têm ratings de crédito inferiores (portanto, apresentam maior risco de crédito).

O foco deste trabalho é especificamente a relação entre a exposição das empresas ao risco climático e a forma como essa exposição afeta a sua solvência. Como se espera que empresas com maior nível de emissões sejam mais rigidamente expostas a regulações de política, como por exemplo um aumento nos impostos do carbono (Capasso et al., 2020), os seus cash-flows serão mais afetados do que os cash-flows de empresas menos intensivas em carbono. Por um lado, empresas mais poluentes podem ser afetadas por uma maior carga fiscal sob a forma do imposto de carbono (Giglio et al., 2021), mas podem também ser afetadas por custos de reputação (Gangi et al., 2020) o que poderá ter impactos ao nível das suas receitas. Por sua vez, Ehlers et al. (2022) consideram não só as emissões de carbono (quantidade total de CO₂ emitida por uma empresa, durante um ano civil), como também a intensidade de carbono, que é o rácio das emissões sobre a receita das vendas, uma vez que este rácio captura a configuração operacional das empresas e por isso a sua capacidade em transitar para uma tecnologia menos poluente. Ehlers et al. (2022) referem ainda que este rácio permite chegar à conclusão de que empresas com maiores emissões de carbono em relação à sua receita das vendas apresentam mais dificuldades com a transição para práticas mais sustentáveis.

2.2. Enquadramento do Risco de Crédito

Segundo a *Basle Committee on Banking Supervision* (1999) o risco de crédito ocorre quando o devedor falha em cumprir as suas obrigações junto do credor (valor do empréstimo mais juros) ou falha em fazê-lo em tempo devido. Monnin (2018) refere que existem algumas dimensões essenciais na determinação do risco de crédito: em primeiro lugar, a capacidade do devedor em gerar rendimento suficiente para pagar a sua dívida e os juros decorrentes (o seu *cash-flow*); e em segundo lugar, o valor do colateral. Este último aspeto é fundamental na avaliação do risco de crédito, uma vez que o valor do colateral é utilizado na métrica Loan-to-Value (LTV), comumente utilizados pelas instituições bancárias na concessão de crédito imobiliário. O LTV é o rácio entre o valor do empréstimo concedido e o valor do ativo que se pretende adquirir (colateral). Este rácio afere o risco que as instituições de crédito enfrentam ao emprestarem uma determinada quantia a um agente que a vai utilizar na compra de um ativo. Deste modo, uma redução do valor do colateral implica um aumento do rácio, ou seja, em caso de incumprimento, o valor do colateral pode não ser suficiente para cobrir o valor do empréstimo, resultando num maior *Loss Given Default* (Bian et al., 2018), ou, por outro lado, se o valor do colateral for reduzido via impactos das alterações climáticas, o devedor pode ser chamado a pagar a diferença entre o valor da entrada inicial e o valor reavaliado do colateral (*margin call*). Assim, as instituições financeiras têm, nos últimos anos, prestado maior atenção aos fenómenos climáticos, devido aos riscos a que estão expostas (nomeadamente na reavaliação de ativos que servem como colateral). Por exemplo, Faiella & Natoli (2018), no seu estudo sobre a relação entre o risco de cheias em Itália e empréstimos bancários, sustentam que empréstimos concedidos a empresas não financeiras está negativamente correlacionado com a sua exposição ao risco de cheias (em especial em pequenas e médias empresas). Chava (2014) refere que os bancos cobram uma taxa de juro significativamente superior a empresas com piores níveis de poluição e exposição a eventos climáticos, assumindo por isso que o risco de crédito destas instituições é superior. No mesmo sentido, Bauer & Hann (2010) descobrem que as práticas ambientais das empresas influenciam a sua solvência ao determinarem a sua exposição a riscos legais, regulatórios e reputacionais. Ademais, empresas com más práticas ambientais enfrentam pesadas reações negativas de *stakeholders*. Conclusões semelhantes são alcançadas por Birindelli et al. (2022), que fazem um estudo sobre o compromisso dos bancos em transitar para práticas ambientais mais sustentáveis e se esse compromisso afeta o seu risco de crédito e se esta relação é moldada pela performance ambiental do país onde o banco se localiza. Estes autores

sustentam que o compromisso climático dos bancos diminui o risco de crédito que os bancos enfrentam e que o país onde se localizam é importante: em países com uma melhor sustentabilidade ambiental, um nível mais baixo de compromisso com melhores práticas ambientais leva a uma maior redução do risco de crédito quando comparado com um nível mais elevado deste compromisso, mas num país com pior sustentabilidade ambiental.

No entanto, Blickle et al. (2021) concluíram que os fenómenos climáticos extremos ao longo das últimas duas décadas pouco ou nada têm influenciado a performance dos bancos norte-americanos, uma vez que os desastres aumentam a procura por novos empréstimos o que compensa perdas com possíveis incumprimentos e até significa maiores lucros em bancos de maior dimensão. Os bancos regionais, contudo, evitam conceder empréstimos para compra de habitação em zonas de risco de cheias. Por sua vez, Steindl & Weinrobe (1983) exploram o montante de depósitos efetuados nos EUA durante eventos de cheias no país, e descobrem que não só não ocorre uma corrida aos depósitos após um evento climático grave, como os depósitos que as instituições bancárias recebem aumentam logo após as cheias. Koetter et al. (2020) afirmam que os bancos que exploram a sua atividade em zonas não afetadas pelo desastre natural aumentam os empréstimos a empresas dentro da zona afetada pelo evento, enquanto empresas que estão dentro das zonas afetadas pelo desastre aumentam significativamente o seu endividamento, sem que os empréstimos fornecidos por estes bancos fora das zonas afetadas aumentam a sua exposição ao risco. No entanto, admitem, bancos que não tenham acesso a zonas geográficas mais diversificadas (bancos regionais) apresentam maior risco de crédito.

Por seu lado, bancos que possuam atividade em zonas afetadas por fenómenos climáticos extremos vêm imediatamente reduzidos o valor do colateral e da posição de crédito dos devedores (Noth & Schüwer, 2023). Ao mesmo tempo, os pagamentos de seguros e programas de ajuda estatais a regiões afetadas ajudam a mitigar estes choques, e os programas de reconstrução dos estragos podem mesmo estimular a atividade económica. Ainda assim, a sua conclusão é perentória: bancos com atividade em zonas afetadas por eventos climáticos extremos são enfraquecidos, resultando numa maior probabilidade de incumprimento, reduzidos z-scores, níveis mais elevados de *non-performing assets*, níveis mais reduzidos de rentabilidade dos ativos, e uma redução do rácio de capital. Ao mesmo tempo, Nguyen et al. (2022) descobrem que os bancos cobram taxas de juro superiores em zonas com um risco superior de subida das águas do mar. Referem também este prémio de taxa de juro não está

associado à probabilidade de incumprimento dos devedores no curto prazo e que para além disso, o prêmio de taxa de juro é inferior em áreas com menor preponderância de fenómenos climáticos extremos.

Capasso et al. (2020) descobre que a distance-to-default (medida do risco de crédito de uma empresa) está negativamente associado com as emissões e com a intensidade de carbono (rácio entre emissões e receitas da empresa), e que, por essa via, empresas com maior quantidade de emissões são percebidas pelo mercado como tendo maior probabilidade de falência. Para além disso, usam o Acordo de Paris como um choque exógeno e chegam à conclusão de que as empresas altamente emissoras diminuem significativamente a sua distance-to-default após esse choque, quando comparadas com empresas com menos emissões.

Assim, por forma a captar a relação causal entre as emissões da empresa e o seu risco de crédito, são definidas duas hipóteses:

H1a: Quanto maiores as emissões de carbono da empresa, maior o seu risco de crédito

H1b: Quanto maior a intensidade de carbono da empresa, maior o seu risco de crédito

2.3. Revisão Metodológica

2.3.1. Modelo de Merton (1974)

Merton (1974) criou o primeiro modelo estrutural de avaliação de risco, em que a intuição passa por tratar o capital próprio de uma empresa como se fosse uma opção de compra sobre os seus ativos, e por isso permite a aplicação do modelo de avaliação de opções criado por Black & Scholes (1973). Segundo Jovan & Ahčan (2017), uma das principais vantagens decorrentes deste modelo passa pela utilização de preços de mercado correntes, uma vez que os preços de mercado refletem a melhor informação disponível, e dessa forma superam as informações fornecidas pelos balanços das empresas (que são uma perspetiva ex-post da performance da empresa). Bharath & Shumway (2008) referem que as variáveis críticas do modelo são o valor de mercado do capital próprio, o valor facial da dívida, e a volatilidade do capital próprio. Daqui surge que, à medida que o valor de mercado do capital próprio diminui, a probabilidade de incumprimento aumenta (o que por sua vez implica que os mercados sejam eficientes e representem toda a informação disponível). Este modelo é amplamente utilizado em contexto académico e profissional. Hillegast et al. (2004) descobre

que o modelo apresenta significativamente maior capacidade de previsão do que outros modelos de risco tradicionais, resultados estes que se mantêm robustos após modificações de coeficientes e variáveis. No mesmo sentido, Campbell et al. (2008) referem que o modelo estrutural apresenta aspetos importantes que permitem capturar o risco de incumprimento. Por outro lado, Du & Suo (2003) sustentam que os modelos estruturais não são capazes de captar de forma suficiente nem de atribuir um preço ao risco de crédito. Capasso et al. (2020), afirma que o modelo apresenta um conjunto de hipóteses particularmente restritivas:

- 1) Não existem custos de transação, impostos, ou custos associados com o incumprimento, tal como a indivisibilidade de bens;
- 2) Os mercados caracterizam-se por terem informação completa, sem limites à acumulação de dívida;
- 3) O passivo caracteriza-se por uma obrigação de cupão 0 com maturidade em T , sendo que a empresa não pode emitir nova dívida ou pagar dividendos;

Barath & Shumway (2008) referem ainda que o modelo pode ser também usado para estimar a probabilidade de incumprimento (PD- probability of default), subtraindo o valor facial da dívida a uma estimativa do valor de mercado da empresa e divide a diferença pela volatilidade da empresa. O resultado é um z-score que é depois substituído numa função densidade que calcula a probabilidade de incumprimento (PD). A literatura parece convergir no sentido de considerar o modelo de Merton um bom previsor do risco de falência.

2.3.2. Altman Z-Score (1968)

Outro tradicional método utilizado para medir o risco de crédito é o Altman Z-score, desenvolvido por Altman (1968) que aplica uma análise discriminante múltipla, utilizando cinco rácios (Fundo de Maneio/Ativo Total; Resultados Transitados/Ativo Total; EBIT/Ativo Total; Capitalização bolsista/Passivo Total; Vendas/Ativo Total) para prever a potencial falência de empresas. Aplicou este método a uma amostra de 33 empresas em falência e 33 empresas em situação de não falência entre 1946 e 1965. Como demonstrado por Cohen (2023) num estudo em que relaciona o Altman Z-Score com as propriedades ESG (Environmental, Social, Governance), esta medida está negativamente relacionada com a componente ambiental (E- Environmental), afirmando que o risco ambiental pode afetar a estabilidade financeira da empresa e por isso aumentar a sua probabilidade de

incumprimento. No entanto, Alves & Meneses (2024) descobrem que a relação entre as propriedades ESG e as medidas de risco financeiro dependem da medida utilizada. Por exemplo, descobrem que o modelo de Merton está negativamente relacionado com o ESG (quanto maior o score de ESG, menor o risco de incumprimento medido pelo modelo de Merton), mas que tal já não se aplica com o Altman Z-Score e o Z-Score. Brogi et al. (2022) referem ainda que o desprezo pelo score ESG pode resultar numa pior reputação, menor confiança por parte dos investidores e dos mercados, que se traduzem em maiores custos de financiamento e consequentemente dificuldades de liquidez, e que, dessa forma, um maior score se traduz num menor risco de crédito medido pelo Altman Z-Score.

2.3.3. Z-Score

Por outro lado, o Z-Score é o rácio da soma do Return on Assets (ROA) com o rácio entre o capital próprio e o ativo total, sobre o desvio padrão do ROA (Le et al., 2023). Esta medida de risco representa o número de desvios padrão abaixo da média através do qual o resultado líquido teria de cair para um nível em que esgotasse o capital próprio (Houston et al., 2010).

O Z-Score é uma medida largamente utilizada no estudo sobre a estabilidade financeira dos bancos, de maneira que, um elevado valor significa uma maior estabilidade financeira. Dai et al. (2023) estudam a relação entre o risco de crédito suportado pelos bancos e a incerteza quanto às políticas climáticas para a China e descobrem que, tudo o resto constante, uma maior incerteza quanto às políticas climáticas aumenta o risco de incumprimento. No mesmo sentido, Do et al. (2023), num estudo acerca do impacto de desastres climáticos na estabilidade financeira de bancos norte-americanos, descobrem que estes desastres diminuem a estabilidade financeira dos bancos, uma vez que os depósitos totais e o capital próprio do banco se tornam mais voláteis, deteriorando o ROA e diminuindo o Z-Score.

Maquieira et al. (2024) fazem um estudo sobre o impacto do ESG no risco de incumprimento de empresas familiares e descobrem que o ESG está negativamente associado ao risco de incumprimento de empresas familiares. Particularmente, a componente ambiental (E) e a componente social (S) demonstram essa relação negativa entre risco de incumprimento em empresas familiares. No mesmo sentido Gangi et al. (2020) estudam a política ambiental das empresas e o impacto da sua reputação no seu risco financeiro. Descobrem que, em primeiro lugar, as práticas ambientais da empresa e a forma como tenta inovar nesse sentido precedem

a sua reputação e em segundo lugar, esta mesma reputação tem um impacto positivo no risco de crédito da empresa medido pelo Z-score. Assim, as práticas ambientais melhoram a sua reputação que por sua vez melhora o seu risco de crédito, agindo como um seguro contra a perda de competitividade.

2.3.4. Limitações dos Modelos Utilizados

No entanto, o Bank for International Settlements (1999) afirma que os modelos apresentados enfrentam algumas dificuldades, nomeadamente:

- 1) **Limitações de dados:** A limitação de dados encoraja a utilização de hipóteses simplificadoras, como por exemplo, o facto de os determinantes das perdas de crédito serem independentes. Por outro lado, a utilização de um grande horizonte temporal nos modelos tradicionais de risco de crédito faz com que sejam utilizados vários ciclos de crédito, o que aumenta a dificuldade em combinar os dados obtidos num portefólio.
- 2) **Dificuldades na construção dos modelos:** Os modelos tradicionais têm dificuldades em incorporar as características dos riscos climáticos, devido a limitações associadas a hipóteses simplificadoras como o facto se assumir modelos em equilíbrio, a assunção de distribuição normal dos choques, linearidade de impactos, otimização intertemporal, ausência de arbitragem, entre outros (Balint et al., 2017). Isto traduz-se, posteriormente, numa subestimação dos impactos do risco climático no risco de crédito.

Por sua vez, Gharghori et al. (2006) proporciona evidência de que os modelos estruturais (como por exemplo o modelo de Merton) claramente superam os modelos baseados em rácios contabilísticos (como por exemplo o modelo Altman Z-Score). No entanto Agarwal & Taffler (2007) afirmam que as duas formas capturam diferentes riscos associados ao incumprimento, mas que em termos de poder de previsão existem poucas diferenças entre ambos.

Desta forma, uma segunda hipótese surge com o objetivo de perceber se diferentes medidas de risco de crédito influenciam os resultados:

H2: As diferentes metodologias de avaliação do risco de crédito não produzem resultados significativamente diferentes.

3. Metodologia

3.1. Modelo de Merton

O modelo de Merton (1974) é uma extensão do modelo de avaliação de opções desenvolvido por Black & Scholes (1973), em que o capital próprio da empresa é uma opção de compra sobre o valor subjacente da empresa com um preço de exercício igual ao valor facial da dívida com maturidade T (Bharath & Shumway, 2008).

De acordo com os autores, o valor da empresa (A_t) segue um movimento Browniano geométrico, em que:

$$dA_t = \mu A_t dt + \sigma_A A_t dz_t \quad (1)$$

Sendo,

A_t o valor do ativo;

dA_t a variação no valor do ativo;

μ o valor esperado dos retornos do ativo;

σ_A a volatilidade do ativo;

t representa a data

dz um processo Weiner (movimento Browniano)

Desta forma, a probabilidade de incumprimento em t é a probabilidade do valor de mercado do ativo (A_t) ser igual ou inferior ao valor contábilístico do passivo na maturidade. Logo, a distância para o incumprimento é dada pelo número de desvios padrão entre o valor esperado do ativo na maturidade e o passivo:

$$DD = \frac{\ln\left(\frac{A_t}{L}\right) + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma_A \sqrt{T-t}} \quad (2)$$

De acordo com as hipóteses do modelo, o capital próprio pode ser tratado como uma opção de compra dos ativos da empresa em que o seu valor subjacente apresenta um preço de exercício igual ao valor nominal da dívida da empresa, com um horizonte temporal de T (Bharath & Shumway, 2008). No mesmo sentido, Capasso et al. (2020) referem que a única

limitação da fórmula (2) advém do facto do valor de mercado do ativo (A_t) e o desvio padrão do ativo (σ) serem variáveis não observáveis. Mas, como apresentado, conseguimos tratar o capital próprio da empresa como uma opção de compra dos seus ativos, ao utilizar o modelo de Black & Scholes (1973).

Ao mesmo tempo, outra equação importante é aquela que nos dá a volatilidade do capital próprio. Segundo Bharath & Shumway (2008):

$$\sigma_E = \left(\frac{A_t}{E}\right) \phi(d1) \sigma_A \quad (3)$$

De acordo com os autores, o objetivo passa por resolver um sistema de duas equações não lineares através de um processo iterativo de forma a transformar o valor e a volatilidade do capital próprio numa probabilidade de incumprimento. Resolvendo o sistema de equações, assumindo um horizonte temporal de apenas um ano ($T=1$) para ultrapassar a limitação do modelo de Merton (1974) em que o incumprimento ocorre apenas na data de maturidade, quando na realidade pode ocorrer em qualquer altura (Capasso et al. 2020), e considerando também que o valor da dívida (L_t) era dado pelo valor facial da dívida de curto prazo mais metade do valor facial da dívida de longo prazo, obtemos os valores do ativo e sua volatilidade, o que permite descobrir o valor da equação (2).

3.2. Altman Z-Score

Altman criou um modelo estatístico que combina 5 rácios financeiros para produzir um Z-Score. O modelo original é dado por:

$$Z = 1,2 X_1 + 1,4 X_2 + 3,3 X_3 + 0,6 X_4 + 1 X_5 \quad (4)$$

Sendo:

$$X_1 = \frac{\text{Fundo de Maneio}}{\text{Ativo Total}}$$

$$X_2 = \frac{\text{Resultados Transitados}}{\text{Ativo Total}}$$

$$X_3 = \frac{\text{EBIT}}{\text{Ativo Total}}$$

$$X_4 = \frac{\text{Capitalização Bolsista}}{\text{Passivo Total}}$$

$$X_5 = \frac{\text{Vendas}}{\text{Ativo Total}}$$

É utilizada uma análise discriminante múltipla, que classifica uma observação num dos vários grupos definidos à priori, formados tendo em conta as características individuais (Altman, 2000). É um método utilizado quando é necessário realizar previsões sobre uma variável qualitativa (uma empresa está ou não em situação de falência). Segundo Altman (2000), a análise discriminante múltipla apresenta a vantagem de considerar um perfil completo de características comuns às empresas, bem como a interação entre si, com outra vantagem de reduzir a dimensão espacial da análise.

Desta forma, Altman utiliza uma amostra de 66 empresas, 33 em estado de falência e 33 em estado de não falência, e o seu modelo prevê corretamente a falência de empresas em 95% das ocasiões com um horizonte temporal de 1 ano, que desce para 72% com horizonte temporal de 2 anos (Anjum, 2012).

Assim, de acordo com Altman (2000) o rácio $X1 = \text{Fundo de Maneio} / \text{Ativo total}$ é introduzido como medida de liquidez da empresa, uma vez que este mede os ativos líquidos da empresa em relação à sua capitalização total. O Fundo de Maneio é dado pela diferença entre o ativo corrente e passivo corrente e, de forma geral, uma empresa com perdas operacionais consistentes terá um rácio inferior.

Por outro lado, o rácio $X2 = \text{Lucros Retidos} / \text{Ativo Total}$ é incorporado para refletir a situação em que empresas mais jovens, tudo o resto constante, se encontram mais próximas do incumprimento porque não tiveram o tempo suficiente para acumular resultados. De acordo com Altman (1983), 50% das empresas que declaram falência fazem-no nos primeiros 5 anos de existência. Ao mesmo tempo, este rácio mede o grau de alavancagem da empresa (quanto maior o nível de lucros retidos em relação ao ativo total, maior o nível de financiamento da compra destes ativos com mais capital próprio e menos dívida, estando menos sujeitas, tudo o resto constante, ao risco de incumprimento).

Por sua vez o rácio $X3 = \text{EBIT} / \text{Ativo Total}$, é utilizado para medir a produtividade da empresa em relação ao seu ativo, tirando os impostos e custos de financiamento da análise. Empresas mais produtivas apresentam, ceteris paribus, maior facilidade em gerir dívida.

No mesmo sentido, o rácio $X4 = \text{Capitalização Bolsista} / \text{Passivo}$ é incluído para demonstrar o quanto o ativo da empresa pode cair (medido pelo valor da capitalização bolsista mais a dívida) antes do valor do passivo da empresa se tornar superior e esta se tornar insolvente.

Por último, o rácio X5= Vendas/Ativo Total, também designado de rácio de rotação do ativo, que ilustra a capacidade de os ativos gerarem vendas, sendo uma medida de gestão operacional da empresa.

De acordo com o modelo original de Altman (1968), o critério de decisão é dado pelos seguintes intervalos: um Z-Score inferior a 1,81 indica uma grande probabilidade de incumprimento; um Z-Score entre 1,81 e 2,67 é a chamada “zona cinzenta”; e um Z-Score superior a 2,67 indica uma empresa saudável.

3.3. Z-Score

Por definição, o Z-Score é dado pelo rácio entre o Return on Assets (ROA) somado ao rácio entre o capital próprio e o ativo sobre o desvio padrão do ROA. Matematicamente, o Z-Score é dado por:

$$Z\text{-Score} = \frac{ROA + \frac{\text{Capital Próprio}}{\text{Ativo}}}{\sigma(ROA)} \quad (5)$$

Desta forma, o Z-Score faz a ligação entre a capitalização da instituição com os seus retornos (ROA) e o seu risco ($\sigma(ROA)$), demonstrando o quanto o número de desvios padrão dos retornos têm de cair antes da instituição se tornar insolvente. Dessa forma, quanto maior o Z-Score, maior a estabilidade, porque maior é a distância para o incumprimento (Li et al., 2017).

Podemos ainda dividir o Z-Score em duas componentes: $\frac{ROA}{\sigma(ROA)} + \frac{\frac{\text{Capital Próprio}}{\text{Ativo}}}{\sigma(ROA)}$.

Com isto, chegamos à conclusão que o primeiro termo da equação toma em consideração o retorno e a volatilidade dos retornos, sendo uma medida do risco de portefólio (Li et al., 2017). Por outro lado, o segundo termo da equação designa a capacidade da instituição em gerar capital para um determinado nível de risco, medindo o risco de alavancagem da instituição.

3.4. Modelo de Estimação

Neste estudo é utilizada uma base de dados em painel, que tem a vantagem de reduzir a colinearidade à medida que o número de observações aumenta. Para além disso, permite

reunir um conjunto de observações para a mesma empresa ao longo do tempo, metodologia esta a normalmente utilizada nos estudos financeiros (Merton, 1974; Black & Scholes, 1973).

O modelo principal analisa a relação entre a distância para o incumprimento (proxy do risco de crédito) e as emissões de cada empresa (proxy do risco climático) através da seguinte equação:

$$DD = \alpha + \beta_1 \ln(emissões) + \beta_2 X_{it} + \beta_3 Y_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

A variável dependente é obtida através da aplicação do modelo de Merton (1974) para uma determinada empresa i no ano t . A variável das emissões de cada empresa é logaritimizada no sentido de normalizar a distribuição das observações e diminuir a dispersão dos dados. X_{it} representa um conjunto de variáveis e rácios financeiros de controlo enquanto, por sua vez, Y_{it} representa os controlos de indústria e país.

Por outro lado, por forma a testar a hipótese H1 b), é introduzida uma nova equação:

$$DD = \alpha + \beta_1 Carbon\ Intensity + \beta_2 X_{it} + \beta_3 Y_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Em que a especificação é em tudo igual à equação (6) com a exceção da variável de estudo, a intensidade de carbono, calculada através do rácio entre as emissões da empresa i no ano t sobre a receita total proveniente das vendas dessa mesma empresa no mesmo período temporal.

Por forma a testar a hipótese H2, as equações anteriores são estimadas novamente, mas desta feita a variável dependente altera-se, estimando apenas os modelos de intensidade de carbono uma vez que o modelo das emissões em termos absolutos não se configura como significativo. Assim:

$$Altman\ Z - Score = \alpha + \beta_1 Carbon\ Intensity + \beta_2 X_{it} + \beta_3 Y_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Em que a variável independente é obtida através da aplicação do modelo de Altman (1968).

E no mesmo sentido:

$$Z - Score = \alpha + \beta_1 Carbon\ Intensity + \beta_2 X_{it} + \beta_3 Y_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Em que a variável independente é obtida através da aplicação do Z-Score.

3.5. Variáveis Utilizadas

Para testar a relação entre o risco climático e o risco de crédito utilizo os três modelos apresentados anteriormente como variável dependente, e como proxy do risco climático, utilizo por um lado as emissões de CO₂ emitidas por cada empresa em termos absolutos, e por outro lado, em termos relativos, o rácio entre as emissões e o total da receita de vendas dessa empresa (designado por intensidade de carbono). Estes dados são extraídos da base de dados Refinitiv Eikon e dizem respeito apenas a emissões de Scope 1. O objetivo de incorporar uma medida de intensidade de carbono passa por conseguir perceber as emissões per capita de cada empresa (Capasso et al., 2020), e em que medida estas estão preparadas e apresentam capacidade para transitar para uma economia menos intensiva em carbono.

Como variáveis de controlo, utilizamos:

- Tamanho da empresa: O tamanho da empresa é medido como o logaritmo do ativo total, tal como definido pela literatura. Neste campo, é expectável que empresas maiores apresentem menor probabilidade de falência (Capasso et al., 2020);
- Rácio de capital: O rácio de capital é obtido através do rácio entre o capital próprio e o ativo total. É utilizado como medida de alavancagem da empresa, sendo que quanto menor é este rácio maior a proporção de dívida utilizada para adquirir os ativos (Noth & Schüwer (2023));
- Rotação do Ativo: A rotatividade do Ativo é dada pelo rácio entre o total da receita das vendas e o total do ativo e é usado como medida do risco operacional. Quanto maior este rácio, maior a capacidade da empresa em gerar vendas usando o ativo (Beaver, 1966);
- Desvio Padrão do ativo: quanto maior a volatilidade do ativo maior a vulnerabilidade da empresa (Capasso et al., 2020);
- Score Ambiental: Score produzido pelo Refinitiv Datastream que mede o impacto de uma empresa no ambiente. Reflete até que ponto uma empresa utiliza as melhores práticas de gestão para evitar riscos ambientais e capitalizar oportunidades ambientais;
- Rácio de dívida: Este rácio é calculado dividindo a dívida total pelo ativo total, sendo um rácio complementar ao rácio de capital;
- Preço do Barril de Petróleo: O preço do barril de petróleo é introduzido como variável macroeconómica, uma vez que reflete as expectativas de inflação, o que pode

ter impacto na economia como um todo e, por sua vez, nas empresas (Capasso et al., 2020);

- Price Book Value: O price to book value é o rácio entre o valor de mercado do capital próprio e o valor contabilístico do capital próprio. Este rácio é um indicador de saúde financeira, uma vez que quanto menor, mais pessimistas os investidores em relação ao futuro da empresa;
- Desvio Padrão do Return On Assets: o ROA é o rácio entre o resultado líquido e o total dos ativos e demonstra em que medida o ativo da empresa é lucrativo. Em termos gerais, espera-se que uma maior volatilidade do ativo leve a uma maior probabilidade de incumprimento;
- Lucros Retidos/Ativo Total (Growth) : representa o rácio entre os resultado após todas as despesas (incluindo pagamento de dividendos) e o ativo total, sendo uma medida da capacidade da empresa enfrentar choques inesperados e da sua capacidade de crescimento, sendo por isso uma medida de liquidez (Zeitun & Tian (2007), (Philosophov et al. (2008)));
- Fundo de maneo/Ativo Total (short-term): medida de liquidez de curto prazo (Philosophov et al. (2008)).

Por último, são também utilizadas variáveis de controlo de país e de indústria, uma vez que determinados setores de atividade apresentam características que os tornam mais ou menos cíclicos, o que afeta com diferentes intensidades a sua probabilidade de incumprimento. Por exemplo, ocorre aquilo que se designa na literatura pelo “*value Effect*” em que as “*value stocks*” (ações de empresas tradicionais e cíclicas, como por exemplo petrolíferas ou produtores de automóveis) apresentam uma melhor performance que as “*growth stocks*” (ações de empresas dinâmicas, com elevadas expectativas de crescimento, como por exemplo empresas tecnológicas) (Fama & French (1992)). Apesar das “*growth stocks*” terem maior expectativas de crescimento e maiores cash-flows, são preteridas por ações de empresas que se caracterizam por uma baixa expectativa de crescimento, mas com um negócio mais estável e com bastante liquidez, o que, dessa forma, diminui o seu risco de incumprimento devido a uma maior facilidade em se financiarem nos mercados de capitais.

3.6. Dados

A amostra utilizada no estudo foi obtida da base de dados Refinitiv Eikon. São incluídas empresas de dois índices bolsistas, representativas do sistema financeiro Norte-Americano através do S&P500 e do sistema financeiro europeu através do STOXX600. A base de dados final contém 4021 observações que dizem respeito a 744 empresas, observadas desde o início de 2017 até ao final de 2022, num painel com dados desequilibrados. Dessas 4021 observações, 1685 representam observações relativas ao índice S&P500 (composto na sua larga maioria por empresas Norte-Americanas, mas também com empresas mexicanas) e as restantes 2336 são observações relativas ao índice STOXX600 (da qual fazem parte o Reino Unido, França, Espanha, Suécia, Dinamarca, Países Baixos, Portugal, Jersey, Alemanha, Suíça, Irlanda, Finlândia, Áustria, Bélgica, Luxemburgo, Itália, Noruega, Grécia, Gibraltar e Cazaquistão), com um total de 22 países representados. Foram eliminadas todas as empresas financeiras e todas as empresas que não apresentavam os dados necessários à determinação dos modelos. Os dados relativos ao preço do barril de petróleo foram extraídos do Federal Reserve Economic Data. Por outro lado, no que toca à variável de indústria, foi usada a designação de atividade tal como exposto pela base de dados do Refinitiv Eikon, da qual fazem parte 12 indústrias (de entre os quais, telecomunicações, materiais básicos, bens de consumo, entre outros).

4. Resultados

4.1. Estatísticas Descritivas

A tabela 1 demonstra as estatísticas descritivas (número de observações, média, desvio padrão, valores mínimo e máximo e quantis) de todas as variáveis utilizadas no estudo.

Tabela1: Estatísticas descritivas

Variáveis	Nº Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	P1	P99
DD	4021	12.261	-0.29	776.494	30.743	1.548	76.876
Altman	4019	28.871	-4.563	20821.29	395.211	0.342	494.828
Z-Score	4007	63.832	-71.857	6785.399	214.775	-4.733	788.487
Short term	4021	0.086	-0.971	0.921	0.154	-.0221	0.603
EPS	4021	5.221	-89.375	1595	30.306	-4.83	32.666
Turnover ratio	4021	0.712	0	4.833	0.548	.036	2.743
Equity /At	4021	0.58	-1.281	63.599	2.059	-.162	5.091
PBV	4021	6.167	-1686.238	7859.456	139.68	-32.012	101.265
Sa	4021	0.486	0.003	28.012	1.211	.03	3.179
Growth	4021	0.29	-8.926	2.593	0.477	-.665	1.4
Environmental Score	4021	64.718	0	99.059	22.047	0	96.87
Debt ratio	4021	0.31	0	3.135	0.2	0.005	0.947
Oil price	4021	65.786	39.16	98.996	17.764	39.16	98.996
sdROA	4021	0.033	0	4.161	0.167	0	0.266
Firm size	4021	23.495	16.878	27.13	1.286	0	26.531

Como é possível observar da tabela, a distância para o incumprimento (DD), o modelo de Altman (Altman) e o ZScore apresentam uma elevada variabilidade, com o 1% das

observações próximo de 0 e o quantil 99% da amostra nas centenas, demonstrando também uma grande amplitude (diferença entre o valor mínimo e máximo da amostra). Podemos observar que este enviesamento é particularmente mais importante no modelo de Altman e no Z-Score, dois modelos construídos através de rácios. Nyitrai & Virág (2019) referem que estes modelos apresentam frequentemente uma distribuição fortemente distorcida devido à presença de *outliers*. Referem ainda que apesar de, por um lado, existir consenso na literatura quanto à necessidade de tratar estes valores extremos, não existe ainda uma forma clara de como o fazer. No entanto, existem duas formas tradicionalmente utilizadas para lidar com este problema: omissão e *winsorização*. A forma como lidamos com este problema foi eliminar as observações extremas (acima do quantil 99%).

Tabela 2: Matriz de correlação

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Ln(emissões) (1)	1.000				
Carbon Intensity (2)	0.0012	1.000			
DD (3)	-0.014	-0.003	1.000		
Altman Z Score (4)	-0.010	-0.001	-0.002	1.000	
Z-Score (5)	-0.018	-0.005	-0.019	-0.002	1.000

Como é diretamente observável da tabela, todas as medidas de risco apresentam correlação negativa quer com as emissões em termos absolutos quer em termos relativos (medida pela intensidade de carbono) o que sugere que a hipótese H1 se irá verificar.

4.2. Resultados dos Modelos de Estimação

4.2.1. Modelo de Merton

Todos os modelos foram estimados com desvios padrão robustos através da opção “VCE(robust)” do Stata para lidar com o problema da autocorrelação, naturalmente presente numa base de dados em painel.

Tabela 3: Resultados Modelo de Merton

Variáveis	Modelo ln(Emissões)	Modelo Carbon Intensity
Ln(emissões)	-0.106 (0.224)	-
Carbon_intensity	-	-0.309*** (0.000)
Turnover ratio	-0.769 (0.187)	-0.779 (0.183)
Equity/At	0.06 (0.232)	0,06 (0.235)
PBV	0 (0.356)	0 (0.367)
Sa	-0.835*** (0.001)	-0.831*** (0,001)
growth	-2.538*** (0.000)	-2.552*** (0.000)
Environmental Score	-0,110 (0.201)	-0.01 (0.218)
Debt ratio	-8.215*** (0.000)	-8.226*** (0.000)
Oil price	0.029*** (0.000)	0.029*** (0.000)
Sd ROA	0.883* (0.091)	0.736 (0.147)
Firm size	1.608*** (0.000)	1.599*** (0.000)
Constante	-17.625*** (0.000)	-19.031*** (0.00)
Controlos de Indústria	Sim	Sim
Controlos de País	Sim	Sim

***p<0.01, **p<0.05 *p<0.1

Dos resultados da regressão realizada na Tabela 3 podemos retirar que um aumento de 1% nas emissões de uma empresa leva a uma redução do seu desvio padrão de distância para o incumprimento (isto é, aumenta a sua probabilidade de incumprimento) em 0,11 unidades, mantendo-se tudo o resto constante. Este resultado demonstra que, tudo o resto constante, quanto mais poluente uma empresa, menor a sua distância para o incumprimento. No entanto, a medida absoluta das emissões não se demonstra significativa, pelo que não há

evidencia para confirmar a hipótese H1a). Isto pode dever-se ao facto de que, como irei expor mais à frente, este modelo pode sofrer com endogeneidade (para uma perceção gráfica ver anexo 1), uma vez que, em termos gerais, as empresas que mais poluem são em contrapartida as empresas que menos faturam (medido pelo total das vendas), e por isso, tudo o resto constante, serão empresas com uma capacidade de investimento em sustentabilidade ambiental inferior.

Relativamente à estimação do modelo com a intensidade de carbono (portanto, a medida relativa das emissões), podemos observar que o coeficiente apresenta um valor 100% significativo e, como seria de esperar, negativo. Podemos assim afirmar que, em termos relativos, um maior risco climático representa um maior risco de crédito, tudo o resto constante.

Da análise da tabela, retiramos ainda que o *turnover_ratio* (rácio das receitas das vendas sobre o valor do ativo) representa uma medida da eficiência do ativo em gerar vendas. O que seria de esperar era que um maior rácio de rotatividade do ativo levasse uma maior distancia para o incumprimento. No entanto, o sinal negativo demonstra que à medida que a rotatividade do ativo aumenta, a distância para o incumprimento diminui (tornando-se mais provável o incumprimento). Isto pode ser devido ao facto de que certas indústrias, como o as infraestruturas, apresentam um valor do ativo relativamente elevado em comparação com as vendas enquanto empresas de indústrias como a energia apresentam um reduzido valor do ativo em relação às vendas. Tendo em conta que, geralmente, a maioria das “*growth stocks*” é de empresas tecnológicas e a maioria das “*value stocks*” são de empresas da energia, que também se espera que sejam as mais poluentes, poderá existir um efeito de endogeneidade (ou seja, as empresas teoricamente mais estáveis e com maior liquidez por via do seu setor, e por isso com menor expectativa de incumprimento, são também as que mais poluem por via, de igual forma, do setor em que se inserem, em particular empresas de energia fóssil). O *Price Book Value* (PBV, rácio entre o valor de mercado do capital próprio e o seu valor contabilístico) foi incorporado como medida do “*value effect*”, uma vez que empresas com um maior PBV são consideradas “*growth stocks*” enquanto as empresas de menor PBV são as “*value stocks*” (Fama & French, 1992). No entanto, não só o coeficiente não é significativo, como é 0.

Ao mesmo tempo, o rácio de capital apresenta um sinal positivo, tal como seria de esperar, uma vez que, *ceteris paribus*, quanto maior a percentagem de capital próprio usada na aquisição de ativos, maior a distância para o incumprimento. No entanto, este rácio não é significativo.

Posteriormente, o desvio padrão do ativo, como se esperava, apresenta uma relação negativa e significativa com a distância para o incumprimento medida pelo modelo de Merton, demonstrando que, uma maior volatilidade do ativo se traduz numa menor distância para o incumprimento. Em seguida, a variável “growth” representa o rácio entre os lucros retidos e o ativo total, sendo uma medida da capacidade da empresa fazer face a choques. O sinal negativo do coeficiente demonstra a relação negativa entre esta capacidade de enfrentar choques inesperados e a distância para o incumprimento. Segundo Capasso et al. (2020), quanto maior este rácio maior é a alavancagem da empresa, pois não estão a utilizar capital próprio para os seus investimentos, o que aumenta o seu risco de crédito.

Por sua vez, a variável “Environmental Score” apresenta um coeficiente negativo, reforçando a ideia de que quanto maior é o risco ambiental menor é a distância para o incumprimento. Ao mesmo tempo, o “debt ratio”, contrariamente ao rácio de capital, demonstra ser significativo, apresentando um coeficiente negativo. Isto denota que empresas com maiores níveis de endividamento estão mais suscetíveis ao incumprimento, como seria de esperar. A variável “OilPrice” foi introduzida com o objetivo de captar a tendência macroeconómica dos países Europeus e dos Estados Unidos, através da utilização do preço do barril de Brent e do crude americano. Isto porque o preço do barril de petróleo é comumente utilizado como indicador de inflação (por estar na base da cadeia de valor) (Sek et al., 2015), o que por sua vez, via curva de Phillips, tem impactos na economia real. O que se espera é que condições macroeconómicas piores (com um nível elevado de inflação e desemprego) produzam uma maior pressão sobre o risco de crédito do tecido empresarial no país. No entanto, como demonstrado pelo coeficiente positivo da variável, *ceteris paribus*, quanto maior o preço do barril do petróleo maior a distância para o incumprimento. Ainda assim, isto pode dar-se devido à presença de empresas produtoras de petróleo na amostra, que lucram com aumentos do preço da sua mercadoria (já se caracterizando por serem empresas de “*value stocks*”).

Finalmente, quer a variável “sdROA” quer a variável “firm size” apresentam coeficientes de sinal positivo. Isto demonstra que, por um lado, à medida que o desvio padrão dos retornos aumenta, a empresa diminui a sua distância para o incumprimento, e por outro, que um nível

superior do ativo total implica uma maior distância para o incumprimento. O modelo apresenta um R^2 geral de 33,3%.

4.2.2 Modelos Alternativos

Uma vez que a medida relativa das emissões de carbono se provou mais robusta e significativa na estimação anterior, irei utilizar apenas a intensidade de carbono em todas as restantes estimações.

Tabela 4: Resultados dos Modelos Alternativos

Variáveis	Modelo Altman Z-Score	Modelo Z-Score
Carbon_intensity	-0.092** (0.019)	-0.9** (0.025)
Turnover ratio	1.967 (0.19)	-0.222 (0.989)
Equity/At	0.468 (0.366)	15.675*** (0.007)
PBV	-0.009 (0.388)	-0.001*** (0.007)
Sa	-7.102* (0.075)	0.332 (0.359)
Se	-6.072* (0.052)	-1.781** (.0.15)
growth	6.396* (0.051)	9.327*** (0.000)
Debt ratio	-38.946*** (0.000)	-3.434 (0.455)
Oil price	-0.009 (0.436)	0.031*** (0.000)
Firm size	-2.492*** (0.004)	-3.795** (0.021)
Short term	21.164*** (0.000)	1.841 (0.63)
EPS	-0.004** (0.049)	0.000 (0.837)
Constante	67.267*** (0.003)	68.366 (0.108)
Controlos de Indústria	Sim	Sim
Controlos de País	Sim	Sim

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ * $p < 0.1$

Desta forma, como observamos da tabela 4, existe uma relação negativa e significativa entre o risco de crédito medido pelo Z-Score de Altman e o risco climático medido pelas emissões de Co2. Podemos observar que se a intensidade de carbono aumentar em uma unidade, o Z-Score de Altman diminui em 0,1 unidades, tornando mais provável chegar ao intervalo em que existe uma forte probabilidade de incumprimento. Desta forma, podemos tirar a conclusão que, quer com o modelo de Merton quer com o Z-Score de Altman, um maior risco climático em termos relativos se traduz num maior risco de crédito, tudo o resto constante. Introduzo três variáveis adicionais em relação ao modelo original, uma vez que Agarwal & Taffler (2007) afirmam que as duas formas de medir o risco capturam diferentes riscos associados ao incumprimento. A variável *short_term* (rácio entre o fundo de maneo e o ativo total) e a variável EPS (resultados por ação) são duas medidas de liquidez adicionais de curto e longo prazo respetivamente, enquanto a variável “se” diz respeito ao desvio padrão do valor de mercado do capital próprio. Philosophov et al. (2008) refere que os rácios *growth* e *short_term* oferecem informação valiosa na análise à probabilidade de incumprimento através de modelos baseados em rácios, como é o modelo de Altman. Desta forma, e como seria de esperar, o sinal positivo da variável *short_term* indica que uma maior capacidade de liquidez no curto prazo torna francamente menos provável o incumprimento, tudo o resto constante. Já, por sua vez, quanto à variável EPS, o seu sinal negativo demonstra que à medida que os resultados por ação aumentam, a probabilidade de incumprimento aumenta, ainda que o coeficiente seja bastante próximo de 0, denotando uma menor importância da liquidez de longo prazo. No mesmo sentido, confirma-se a relação negativa entre desvio padrão do valor de mercado do capital próprio e o risco de crédito.

Por sua vez, podemos retirar que efetivamente o modelo de Altman captura o risco de crédito de forma diferente ao modelo de Merton. Isto porque as variáveis *turnover_ratio* e *growth* apresentam sinal positivo, contrario ao modelo de Merton. Ou seja, quer o grau de rotação do ativo quer a variável que capta o efeito dos lucros retidos diminuem a probabilidade de incumprimento. Por outro lado, o modelo de Altman denota que quanto maior o tamanho da empresa, medido pelo *firmsize*, mais próxima está do incumprimento. As restantes variáveis têm a mesma interpretação que o modelo original.

Ao mesmo tempo, como podemos retirar da tabela, quando medido pelo Z-Score, quanto maior o nível de intensidade de carbono, mais próximo do incumprimento. Mais especificamente, se a intensidade de carbono aumentar em uma unidade, a distância para o incumprimento diminui 0,1 unidades (tornando assim mais provável o incumprimento), num resultado bastante próximo com o do modelo de Altman. Podemos assim confirmar a hipótese H2, que as diferentes medidas de risco capturam a relação negativa e significativa entre o risco climático e o risco de crédito, o que confere uma robustez a este trabalho que até então não havia sido encontrada na literatura. Quanto às restantes variáveis, os resultados têm a mesma interpretação do modelo de Altman.

5. Testes de Robustez

Uma das preocupações com este estudo prende-se com a possível endogeneidade presente no modelo. Isto porque empresas com melhores praticas ambientais estão mais afastadas do incumprimento, mas ao mesmo tempo empresas com mais capacidades em termos financeiros, e por isso também mais afastadas do incumprimento, podem investir mais na sua sustentabilidade ambiental.

Existem várias formas de lidar com este problema, como por exemplo através do uso de variáveis instrumentais (IV), ou da aplicação de um modelo de diferença-em-diferenças (DiD). No entanto, a metodologia escolhida foi a utilização de variáveis desfasadas ao nível da variável dependente, porque permite resolver o problema da endogeneidade em bases de dados em painel (Abdallah et al., 2015) em que as observações do ano t estão relacionadas com as observações do ano t-1. Por outro lado, o modelo IV apresenta a dificuldade de encontrar instrumentos válidos e o modelo DiD requer a existência de um fator disruptor e de um grupo exposto a esse fator disruptor e outro grupo não exposto.

Tabela 5: Tratamento da endogeneidade

Variáveis	Modelo de Merton com variável desfasada	Modelo de Merton excluindo empresas produtoras de petróleo
Carbon_intensity	-0.198*** (0.000)	-29.622* (0.082)
Turnover ratio	0.778 (0.176)	-1.477** (0.038)
Equity/At	-0.003 (0.951)	0.076 (0.164)
PBV	0.000 (0.535)	0.000 (0.335)
Sa	-0.213 (0.200)	-1.086*** (0.000)
Se	-	1.035*** (0.000)
growth	-2.431*** (0.002)	-2.329*** (0.001)
Environmental Score	-0.001** (0.847)	-0.024** (0.025)
Debt ratio	-5.133*** (0.000)	-9.523*** (0.000)

Oil price	0.004 (0.361)	0.039*** (0.000)
Sd ROA	-0.385** (0.467)	1.383** (0.022)
Firm size	1.095*** (0.000)	1.723*** (0.000)
Constante	-9.41* (0.091)	-22.011*** (0.000)
Controlos de Indústria	Sim	Sim
Controlos de País	Sim	Sim

***p<0.01, **p<0.05 *p<0.1

Como observamos da tabela, ao introduzir o desfasamento de um ano na variável dependente, a variável da distância para o incumprimento continua significativa a 1%, apesar do seu valor ser inferior. Com isto retiramos que o modelo é significativo e robusto, podendo tirar a conclusão que um maior risco climático implica, de facto, um maior risco de crédito. Ao mesmo tempo, algumas variáveis no modelo original apresentavam um sinal diferente do esperado (por exemplo, o turnover ratio apresentava sinal negativo), algo que este modelo consegue retificar.

Adicionalmente faço também a estimação do modelo inicial excluindo empresas produtoras de petróleo para testar em que medida os resultados não podem estar enviesados pelo facto de empresas de um setor com, regra geral, maior estabilidade financeira serem também empresas mais poluentes.

Como é observável da tabela, o valor do coeficiente da variável dependente dispara consideravelmente, o que significa que um aumento de uma unidade na intensidade de carbono leva a uma diminuição de 30 unidades da distância para o incumprimento, tudo o resto constante. O resultado é significativo a 10%.

Este resultado permite tirar a conclusão de que quanto maior é o risco climático medido pelas emissões de Co2 de cada empresa, maior é o risco de crédito.

6. Conclusão

As preocupações ambientais e seus riscos decorrentes são cada vez mais o foco de uma sociedade que os sente de forma cada vez mais aguda. Estes problemas afetam não só a economia de uma forma direta, nomeadamente ao nível agrícola e industrial, mas também e de forma mais particular de forma indireta, nomeadamente o sistema financeiro. O problema sob o ponto de vista financeiro prende-se com o facto de que uma maior preponderância de fenómenos extremos como cheias ou incêndios leva à destruição de bens materiais. Ou seja, existe um aumento do risco climático que se traduz em custos que levam a um aumento da despesa e diminuição da receita, o que por seu lado leva a uma substancial reavaliação do valor dos ativos, que por sua vez tem impacto direto na riqueza por via da desvalorização de ativos que servem como colaterais. Assim, regra geral, uma redução do valor dos ativos (diminuição do valor do colateral) diminui a capacidade dos agentes para gerirem dívida, o que é uma fonte de risco de crédito.

O objetivo deste trabalho passava então por descobrir se existia uma relação entre o risco de crédito e o risco climático, testando a aderência dos resultados em 3 modelos distintos. Os resultados mostram uma inequívoca relação negativa entre o risco de crédito medido pelo modelo de Merton, modelo de Altman e pelo Z-Score e o risco climático medido pela intensidade de carbono (rácio entre as emissões de Co2 e o total de vendas) sendo uma relação significativa em todos os modelos estimados, confirmando a hipótese H1 b) e H2. Desta forma, apenas a hipótese H1 a) não se verifica, pois o modelo de Merton utilizando as emissões de Co2 não é significativo. Os resultados demonstram-se, de igual forma, significativos e com sinal negativo após a estimação dos modelos com variáveis desfasadas para testar a presença de endogeneidade e também após a estimação do modelo excluindo as empresas produtoras de petróleo.

Uma das principais falhas deste trabalho prende-se com a proxy do risco climático que utilizo (exclusivamente as emissões de Co2), uma vez que há empresas que podem ser extremamente poluentes sem estarem a emitir uma grande quantidade de Co2 (através por exemplo de outros tipos de poluição, como descargas de resíduos tóxicos para os rios ou oceanos). Balvers et al. (2017) utilizam choques de temperatura como variável de risco climático, enquanto que, por seu lado, Bansal et al. (2019) utilizam como medida do risco climático a anomalia de temperatura. Ainda assim, a grande maioria dos estudos que utilizam modelos avaliação de ativos utiliza uma medida de intensidade de emissões, por ser a única

forma de relacionar com o comportamento em específico da empresa. Outra das principais falhas deste estudo, prende-se com a utilização exclusiva de emissões de tipo 1.

Por último, a principal orientação de política que resulta deste estudo prende-se essencialmente com as suas implicações para com a estabilidade financeira. Cada vez mais os mandatos dos Bancos Centrais se centram à volta da estabilidade financeira pelo que estes deveriam prestar a devida importância ao fator climático como potencial disruptor da estabilidade financeira.

Referências

- Abdallah, W., Goergen, M., & O'Sullivan, N. (2015). Endogeneity: How failure to correct for it can cause wrong inferences and some remedies. *British Journal of Management*, 26(4), 791-804. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12113>
- Agarwal, V., & Taffler, R. J. (2007). Twenty-five years of the Taffler z-score model: Does it really have predictive ability? *Accounting and Business Research*, 37(4), 285-300. <https://doi.org/10.1080/00014788.2007.9663313>
- Alves, C. F., & Meneses, L. L. (2024). ESG scores and debt costs: Exploring indebtedness, agency costs, and financial system impact. *International Review of Financial Analysis*, 94, 103240. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103240>
- Altman, E. (2000). Revisiting the Z-Score and ZETA®. Predicting Financial Distress of Companies, 2-16.
- Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 23(4), 589-609. <https://doi.org/10.2307/2978933>
- Altman, E. I. (1983). Why businesses fail. *Journal of Business Strategy*, 3(4), 15-21. <https://doi.org/10.1108/eb038985>
- Anjum, S. (2012). *Business bankruptcy prediction models: A significant study of the Altman's Z-score model*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2128475>
- Balint, T., Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Roventini, A., & Sapio, A. (2017). Complexity and the economics of climate change: A survey and a look forward. *Ecological Economics*, 138, 252-265. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.032>
- Balvers, R., Du, D., & Zhao, X. (2017). Temperature shocks and the cost of equity capital: Implications for climate change perceptions. *Journal of Banking & Finance*, 77, 18-34. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2016.12.013>
- Banco de Portugal. (2023). *Relatório anual sobre a exposição do setor bancário ao risco climático*. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/pdf-boletim/rel_lbc_pt.pdf
- Bansal, R., Kiku, D., & Ochoa, M. (2019). Climate change risk. Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper.

- Basle Committee on Banking Supervision. (1999). *Credit risk modelling: Current practices and applications*. Bank for International Settlements. <https://www.bis.org/publ/bcbs49.pdf>
- Basle Committee on Banking Supervision (2000). *Principles for the management of credit risk*. Bank for International Settlements. <https://www.bis.org/publ/bcbs75.pdf>
- Bats, J. V., & Houben, A. C. (2020). Bank-based versus market-based financing: Implications for systemic risk. *Journal of Banking & Finance*, 114, 105776. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2020.105776>
- Battiston, S., Mandel, A., Monasterolo, I., Schütze, F., & Visentin, G. (2017). A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 7(4), 283-288. <https://doi.org/10.1038/nclimate3255>
- Bauer, R., & Hann, D. (2010). *Corporate environmental management and credit risk*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1660470>
- Beaver, W. H. (1966). Financial ratios as predictors of failure. *Journal of Accounting Research*, 71-111. <https://doi.org/10.2307/2490171>
- Bharath, S. T., & Shumway, T. (2008). Forecasting default with the Merton distance to default model. *The Review of Financial Studies*, 21(3), 1339-1369. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhn044>
- Bian, X., Lin, Z., & Liu, Y. (2018). House price, loan-to-value ratio and credit risk. *Journal of Banking & Finance*, 92, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2018.04.006>
- Birindelli, G., Bonanno, G., Dell'Atti, S., & Iannuzzi, A. P. (2022). Climate change commitment, credit risk and the country's environmental performance: Empirical evidence from a sample of international banks. *Business Strategy and The Environment*, 31(4), 1641-1655. <https://doi.org/10.1002/bse.2974>
- Blickle, K., Hamerling, S. N., & Morgan, D. P. (2021). *How bad are weather disasters for banks?*. Federal Reserve Bank of New York Staff Report (No. 990). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3961081>
- Brogi, M., Lagasio, V., & Porretta, P. (2022). Be good to be wise: Environmental, social, and governance awareness as a potential credit risk mitigation factor. *Journal of International*

- Financial Management & Accounting*, 33(3), 522-547.
<https://doi.org/10.1111/jifm.12156>
- Campbell, J. Y., Hilscher, J., & Szilagyi, J. (2008). In search of distress risk. *The Journal of Finance*, 63(6), 2899-2939. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01416.x>
- Campino, J. d. O. (2023). The marginal impact of predicted climate risk scenarios on portfolio credit risk stress testing. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 16(2), 124-137.
- Capasso, G., Gianfrate, G., & Spinelli, M. (2020). Climate change and credit risk. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121634. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121634>
- Chakraborty, S., & Ray, T. (2006). Bank-based versus market-based financial systems: A growth-theoretic analysis. *Journal of Monetary Economics*, 53(2), 329-350.
<https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2005.01.003>
- Chava, S. (2014). Environmental externalities and cost of capital. *Management Science*, 60(9), 2223-2247. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2013.1863>
- Cohen, G. (2023). ESG risks and corporate survival. *Environment Systems and Decisions*, 43(1), 16-21. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09886-8>
- Dai, Z.-H., Liu, Z.-E., Zhang, H., & Qin, Z.-Z. Numerical analysis of load-transfer mechanism of stiffened deep cement mixing pile foundation. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/19386362.2023.2285650>
- Do, Q. A., Phan, V., & Nguyen, D. T. (2023). How do local banks respond to natural disasters?. *The European Journal of Finance*, 29(7), 754-779.
<https://doi.org/10.1080/1351847X.2022.2055969>
- Du, Y., & Suo, W. (2003). *Assessing credit quality from equity markets: is structural model a better approach?*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.470701>
- Ehlers, T., & Packer, F. (2017). Green bond finance and certification. BIS Quarterly Review.
- Ehlers, T., Packer, F., & De Greiff, K. (2022). The pricing of carbon risk in syndicated loans: Which risks are priced and why?. *Journal of Banking & Finance*, 136, 106180.
<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2021.106180>

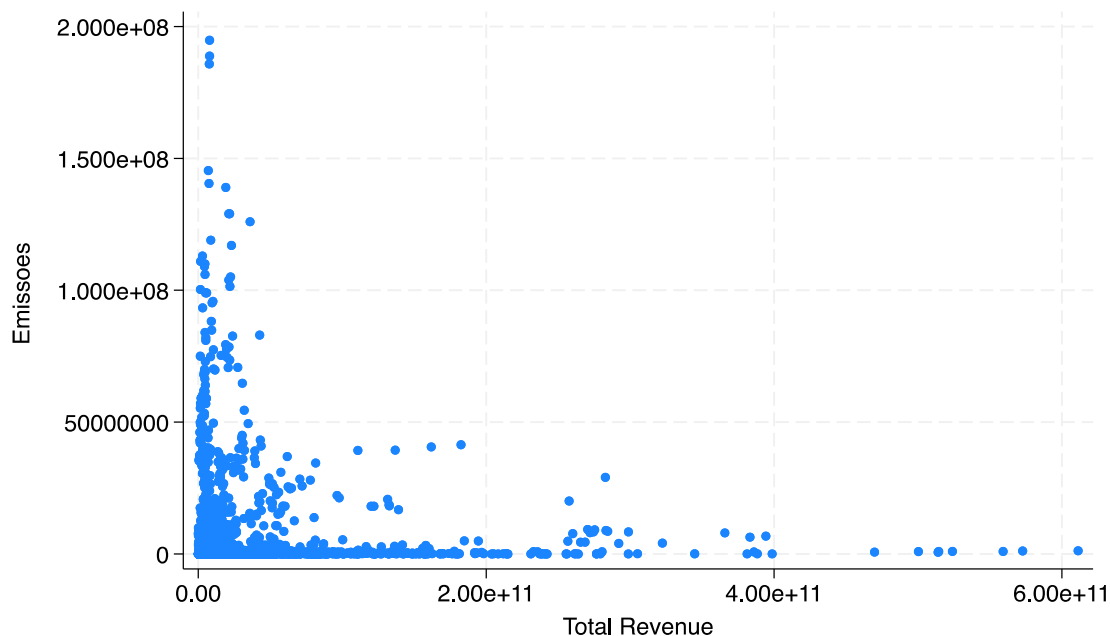
- Faiella, I., & Natoli, F. (2018). *Natural catastrophes and bank lending: The case of flood risk in Italy*. Bank of Italy Occasional Paper (No. 457). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3429210>
- Fama, E. F., & French, K. R. (1992). The cross-section of expected stock returns. *The Journal of Finance*, 47(2), 427-465. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1992.tb04398.x>
- Gangi, F., Daniele, L. M., & Varrone, N. (2020). How do corporate environmental policy and corporate reputation affect risk-adjusted financial performance?. *Business Strategy and the Environment*, 29(5), 1975-1991. <https://doi.org/10.1002/bse.2482>
- Gharghori, P., Chan, H., & Faff, R. (2006). Investigating the performance of alternative default-risk models: Option-based versus accounting-based approaches. *Australian Journal of Management*, 31(2), 207-234. <https://doi.org/10.1177/031289620603100203>
- Giuzio, M., Krušec, D., Levels, A., Melo, A. S., Mikkonen, K., & Radulova, P. (2019). *Climate change and financial stability*. https://www.ecb.europa.eu/pub/financial-stability/fsr/special/html/ecb.fsrart201905_1~47cf778cc1.en.html
- Hillegeist, S. A., Keating, E. K., Cram, D. P., & Lundstedt, K. G. (2004). Assessing the probability of bankruptcy. *Review of Accounting Studies*, 9, 5-34. <https://doi.org/10.1023/B:RAST.0000013627.90884.b7>
- Houston, J. F., Lin, C., Lin, P., & Ma, Y. (2010). Creditor rights, information sharing, and bank risk taking. *Journal of Financial Economics*, 96(3), 485-512. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2010.02.008>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- Jovan, M., & Ahčan, A. (2017). Default prediction with the Merton-type structural model based on the NIG Lévy process. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 311, 414-422. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2016.08.007>
- Koetter, M., Noth, F., & Rehbein, O. (2020). Borrowers under water! Rare disasters, regional banks, and recovery lending. *Journal of Financial Intermediation*, 43, 100811. <https://doi.org/10.1016/j.jfi.2019.01.003>

- Le, A.-T., Tran, T. P., & Mishra, A. V. (2023). Climate risk and bank stability: International evidence. *Journal of Multinational Financial Management*, 70, 100824. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2023.100824>
- Li, X., Tripe, D. W., & Malone, C. B. (2017). Measuring bank risk: An exploration of z-score. Available at SSRN 2823946.
- Maquieira, C. P., Arias, J. T., & Espinosa-Méndez, C. (2024). The impact of ESG on the default risk of family firms: International evidence. *Research in International Business and Finance*, 67, 102136. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2023.102136>
- Merton, R. C. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates. *The Journal of Finance*, 29(2), 449-470. <https://doi.org/10.2307/2978814>
- Monnin, P. (2018). *Integrating climate risks into credit risk assessment-current methodologies and the case of central banks corporate bond purchases*. Council on Economic Policies Discussion Note (No. 4). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3350918>
- Network for Greening the Financial System. (2019). *A call for action: Climate change as a source of financial risk*. Central Banks and Supervisors. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_first_comprehensive_report_-_17042019_0.pdf
- Nguyen, D. D., Ongena, S., Qi, S., & Sila, V. (2022). Climate change risk and the cost of mortgage credit. *Review of Finance*, 26(6), 1509-1549. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac013>
- Noth, F., & Schüwer, U. (2023). Natural disasters and bank stability: Evidence from the US financial system. *Journal of Environmental Economics and Management*, 119, 102792. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102792>
- Nyitrai, T., & Virág, M. (2019). The effects of handling outliers on the performance of bankruptcy prediction models. *Socio-Economic Planning Sciences*, 67, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.08.004>
- Philosophov, L. V., Batten, J. A., & Philosophov, V. L. (2008). Predicting the event and time horizon of bankruptcy using financial ratios and the maturity schedule of long-term

- debt. *Mathematics and Financial Economics*, 1, 181-212.
<https://doi.org/10.1007/s11579-007-0008-9>
- Pointner, W., & Ritzberger-Grünwald, D. (2019). *Climate change as a risk to financial stability*. Financial Stability Report, 38, 30-45.
- Ramos-García, D., López-Martín, C., & Arguedas-Sanz, R. (2023). Climate transition risk in determining credit risk: evidence from firms listed on the STOXX Europe 600 index. *Empirical Economics*, 65(5), 2091-2114. <https://doi.org/10.1007/s00181-023-02416-8>
- Roncoroni, A., Battiston, S., Escobar-Farfán, L. O. L., & Martinez-Jaramillo, S. (2021). Climate risk and financial stability in the network of banks and investment funds. *Journal of Financial Stability*, 54, 100870. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100870>
- Safiullah, M., Kabir, M. N., & Miah, M. D. (2021). Carbon emissions and credit ratings. *Energy Economics*, 100, 105330. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105330>
- Sek, S. K., Teo, X. Q., & Wong, Y. N. (2015). A comparative study on the effects of oil price changes on inflation. *Procedia Economics and Finance*, 26, 630-636.
[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00800-X](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00800-X)
- Steindl, F. G., & Weinrobe, M. D. (1983). Natural hazards and deposit behavior at financial institutions: A note. *Journal of Banking & Finance*, 7(1), 111-118.
[https://doi.org/10.1016/0378-4266\(83\)90059-6](https://doi.org/10.1016/0378-4266(83)90059-6)
- Zeitun, R., & Tian, G. G. (2007). Does ownership affect a firm's performance and default risk in Jordan?. *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 7(1), 66-82. <https://doi.org/10.1108/14720700710727122>
- World Meteorological Organization. (2023). *WMO annual report highlights continuous advance of climate change*. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-annual-report-highlights-continuous-advance-of-climate-change>

Anexos

Anexo1: Relação entre as emissões e a receita total



Anexo 2: Resultados da estimação do primeiro modelo (ln(emissões))

DD	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
Ln(Emissoes)	-.106	.087	-1.22	.224	-.278	.065	
turnover_ratio	-.769	.583	-1.32	.187	-1.911	.373	
EquityAt	.06	.05	1.20	.232	-.038	.158	
PBV	0	0	-0.92	.356	0	0	
sa	-.835	.244	-3.42	.001	-1.313	-.356	***
growth	-2.538	.721	-3.52	0	-3.952	-1.125	***
EnvironmentalSco	-.011	.008	-1.28	.201	-.027	.006	
debratio	-8.215	1.332	-6.17	0	-10.826	-5.603	***
Oilprice	.029	.004	6.61	0	.02	.037	***
sdROA	.883	.522	1.69	.091	-.141	1.907	*
Firmsize	1.608	.289	5.57	0	1.041	2.174	***
Constant	-17.625	6.67	-2.64	.008	-30.699	-4.551	***
Industry Controls		Yes	Country Controls		Yes		
Mean dependent var		9.998	SD dependent var		8.791		
Overall r-squared		0.334	Number of obs		3981		
R-squared within		0.078	R-squared between		0.381		

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Anexo 3: Resultados da estimação do primeiro modelo (carbon intensity)

DD	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
----	-------	---------	---------	---------	-----------	-----------	-----

carbon_intensity	-.309	.012	-24.78	0	-.334	-.285	***
turnover_ratio	-.779	.585	-1.33	.183	-1.927	.368	
EquityAt	.06	.051	1.19	.235	-.039	.159	
PBV	0	0	-0.90	.367	0	0	
sa	-.831	.244	-3.41	.001	-1.309	-.354	***
growth	-2.552	.725	-3.52	0	-3.973	-1.13	***
EnvironmentalSco	-.01	.008	-1.23	.218	-.026	.006	
debratio	-8.226	1.333	-6.17	0	-10.838	-5.613	***
Oilprice	.029	.004	6.72	0	.02	.037	***
sdROA	.736	.508	1.45	.147	-.259	1.731	
Firmsize	1.599	.289	5.53	0	1.033	2.166	***
Constant	-19.031	6.672	-2.85	.004	-32.108	-5.954	***
Industry Controls	Yes		Country Controls		Yes		
Mean dependent var	9.998		SD dependent var		8.791		
Overall r-squared	0.333		Number of obs		3981		
R-squared within	0.078		R-squared between		0.380		

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Anexo 4: Resultados da estimação do segundo modelo (Altman Z-Score)

Altman	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
carbon_intensity	-.092	.039	-2.34	.019	-.169	-.015	**
turnover_ratio	1.967	1.501	1.31	.19	-.975	4.908	
EquityAt	.468	.517	0.90	.366	-.547	1.482	
PriceBookValue	-.009	.01	-0.86	.388	-.029	.011	
sa	7.102	3.982	1.78	.075	-.703	14.907	*
se	-6.072	3.126	-1.94	.052	-12.199	.056	*
growth	6.396	3.274	1.95	.051	-.02	12.812	*
debratio	-38.946	6.683	-5.83	0	-52.045	-25.847	***
Oilprice	-.009	.012	-0.78	.436	-.033	.014	
Firmsize	-2.492	.87	-2.86	.004	-4.198	-.786	***
short_term	21.164	5.479	3.86	0	10.427	31.902	***
EPS	-.004	.002	-1.96	.049	-.007	0	**
Constant	67.267	22.443	3.00	.003	23.28	111.255	***
Industry Controls	Yes		Country Controls		Yes		
Mean dependent var	9.518		SD dependent var		30.667		
Overall r-squared	0.227		Number of obs		3978		
R-squared within	0.071		R-squared between		0.291		

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Anexo 5: Resultados da estimação do terceiro modelo (Z-Score)

ZScore	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
carbon_intensity	-.09	.04	-2.24	.025	-.169	-.011	**
turnover_ratio	-.022	1.551	-0.01	.989	-3.062	3.018	
EquityAt	15.675	5.798	2.70	.007	4.311	27.04	***
PBV	-.001	0	-2.69	.007	-.001	0	***
sa	.332	.362	0.92	.359	-.377	1.041	
se	-1.781	.73	-2.44	.015	-3.212	-.351	**
growth	9.327	2.642	3.53	0	4.149	14.504	***
debratio	-3.434	4.598	-0.75	.455	-12.445	5.578	
Oilprice	.031	.009	3.52	0	.014	.048	***
Firmsize	-3.795	1.642	-2.31	.021	-7.013	-.578	**
short_term	1.841	3.821	0.48	.63	-5.648	9.33	
EPS	0	.001	-0.21	.837	-.002	.002	

Constant	68.366	42.501	1.61	.108	-14.933	151.666
Industry Controls	Yes		Country Controls		Yes	
Mean dependent var	46.921		SD dependent var		72.852	
Overall r-squared	0.230		Number of obs		3966	
R-squared within	0.258		R-squared between		0.264	

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Anexo 6: Resultados da estimação do modelo de Merton com variável desfasada

lagDD	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
carbon_intensity	-.198	.009	-21.34	0	-.216	-.18	***
turnover_ratio	.778	.575	1.35	.176	-.348	1.904	
EquityAt	-.003	.052	-0.06	.951	-.105	.099	
PBV	0	0	-0.62	.535	0	0	
sa	-.213	.166	-1.28	.2	-.539	.113	
growth	-2.431	.793	-3.06	.002	-3.985	-.876	***
EnvironmentalSco	-.001	.007	-0.19	.847	-.016	.013	
re							
debt_ratio	-5.133	1.056	-4.86	0	-7.202	-3.063	***
Oilprice	.004	.004	0.91	.361	-.004	.011	
sdROA	-.385	.529	-0.73	.467	-1.422	.653	
Firm_size	1.095	.217	5.05	0	.669	1.52	***
Constant	-9.41	5.566	-1.69	.091	-20.319	1.5	*

Industry Controls	Yes		Country Controls		Yes	
Mean dependent var	9.656		SD dependent var		8.228	
Overall r-squared	0.325		Number of obs		3210	
R-squared within	0.004		R-squared between		0.383	

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Anexo 7: Resultados da estimação do modelo de Merton sem empresas produtoras de petróleo

DD	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
carbon_intensity	-29.622	17.049	-1.74	.082	-63.039	3.794	*
turnover_ratio	-1.477	.711	-2.08	.038	-2.87	-.084	**
EquityAt	.076	.055	1.39	.164	-.031	.184	
PBV	0	0	-0.96	.335	0	0	
se	1.035	.177	5.85	0	.688	1.381	***
sa	-1.086	.183	-5.92	0	-1.445	-.726	***
growth	-2.329	.676	-3.44	.001	-3.654	-1.004	***
EnvironmentalSc	-.024	.011	-2.25	.025	-.044	-.003	**
debt_ratio	-9.523	1.43	-6.66	0	-12.326	-6.72	***
Oilprice	.039	.005	7.56	0	.029	.05	***
sdROA	1.383	.603	2.29	.022	.201	2.565	**
Firm_size	1.723	.353	4.88	0	1.032	2.415	***
Constant	-22.011	8.076	-2.73	.006	-37.839	-6.182	***

Industry Controls	Yes		Country Controls		Yes	
Mean dependent var	10.039		SD dependent var		9.533	
Overall r-squared	0.313		Number of obs		3815	
R-squared within	0.089		R-squared between		0.331	

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$