

### **A PROPOSAL FOR SELECTING EFFICIENT PORTFOLIOS USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)**

Cristiano Fuschilo - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RIO DE JANEIRO - CEFET/RJ - Orcid:  
<http://orcid.org/0000-0003-2050-8074>

Matheus Pedra Puime Feijoo - UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - Orcid:  
<http://orcid.org/0000-0001-9582-4595>

Sildenir Alves Ribeiro - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RIO DE JANEIRO - CEFET/RJ - Orcid:  
<http://orcid.org/0000-0003-4808-1009>

Eber Assis Schimtz - UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4839-4606>

Apply Data Envelopment Analysis (DEA) to choose efficient project portfolios. The article presents an original contribution with the proposal to Use Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate efficient project portfolios and assist managers in selecting the best-ranked portfolios by the algorithm. 1. Apply the DEA from DMUs (Decision Making Unit) for decision making based on the analysis of inputs (inputs) and outputs (outputs); 2. Measure and compare the productivity and efficiency of project portfolios and rank the best portfolios or candidate portfolios. Data analysis showed that the composition of an efficient portfolio can be measured through the efficiency frontier with the DEA and that the algorithm generates better analysis than the current method used in the company. Raffle/Random. The main contribution of this work is to present an alternative for selecting an efficient project portfolio that is aligned with the strategic objectives of organizations using DEA based on inputs. Generation of knowledge that allows helping project managers, facilitating the management of the budget allocation for projects, aiming at the best strategic return for a given organization.

Keywords: Portfolio Management, Portfolio Theory, Data Envelopment Analysis, DMU - Data Makink Unit, Efficiency Analysis

### **UMA PROPOSTA PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIOS EFICIENTES UTILIZANDO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

Aplicar Análise Envoltória de Dados (DEA) para escolha de portfólios de projetos eficientes. O artigo apresenta uma contribuição original com a proposta de Utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar portfólios eficientes de projetos e auxiliar gestores na seleção dos portfólios melhores ranqueados pelo algoritmo. 1. Aplicar a DEA a partir de DMUs (Decision Making Unit) para tomadas de decisão com base na análise de insumos (inputs) e saídas (outputs); 2. Medir e comparar a produtividade e eficiência dos portfólios de projetos e produzir um rank com os melhores portfólios ou os portfólios candidatos. A análise dos dados, evidenciou que a composição de um portfólio eficiente, pode ser medido através da fronteira de eficiência com a DEA e que o algoritmo gera análise melhor do que o método atual empregado na empresa. Sorteio/aleatório. A principal contribuição deste trabalho é apresentar uma alternativa para a seleção de um portfólio de projetos eficiente e que esteja alinhado aos objetivos estratégicos das organizações utilizando a DEA a partir dos inputs. Geração de conhecimento que permita auxiliar gestores de projetos, facilitando o gerenciamento da distribuição orçamentária destinada aos projetos, visando o melhor retorno estratégico para uma determinada organização.

Palavras-chave: Gestão de Portfólios, Teoria dos Portfólios, Data Envelopment Analysis, DMU - Data Makink Unit, Análise de Eficiência

## UMA PROPOSTA PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIOS EFICIENTES UTILIZANDO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

### RESUMO

Este artigo apresenta uma análise sobre carteiras de investimentos financeiros utilizando Data Envelopment Analysis (DEA) e Teoria dos Portfólios. A ideia é aplicar a DEA juntamente com os métodos da Teoria do Portfólio para otimizar carteiras de investimentos de várias organizações do setor de óleo e gás, ainda que a técnica aplicada não se restrinja apenas a este setor. A teoria do portfólio é um problema de otimização combinatória, que analisa carteiras de investimentos em projetos analogamente ao problema da mochila, onde é modelado situações para encontrar o ótimo global. A DEA é uma ferramenta sistêmica utilizada para calcular a eficiência relativa a partir da identificação de sua fronteira. Neste estudo, foram analisados 5 cenários e os resultados obtidos estimulam a aplicação da DEA para tratar problemas de gestão de portfólios.

**Palavras-chave:** Gestão de Portfólios, Teoria dos Portfólios, Data Envelopment Analysis.

### A PROPOSAL FOR SELECTING EFFICIENT PORTFOLIOS USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

#### ABSTRACT

This paper presents an analysis of financial investment portfolios using Data Envelopment Analysis (DEA) and Portfolio Theory. The idea is to apply Data Envelopment Analysis with the methods of Portfolio Theory to optimize investment portfolios of organizations in the oil and gas sector, even though the applied technique is not restricted to this sector only. Portfolio theory is a combinatorial optimization problem, which analyzes project investment portfolios analogously to the backpack problem, where situations are modeled to find global optimum. DEA is a systemic tool used to calculate relative efficiency from the identification of its boundary. In this study, 5 scenarios were analyzed, and the results obtained encourage the application of DEA to deal with portfolio management problems.

**Keywords:** Portfolio Management, Portfolio Theory, Data Envelopment Analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

As constantes mudanças ambientais colocam às organizações frente a diversos fatores internos e externos que influenciam o seu desempenho, como: a globalização, o aumento da competição entre empresas, a instabilidade econômica e a evolução tecnológica. Em seu trabalho, Ho (2008) apresenta ainda outras questões que influenciam o desempenho das organizações, sendo o esforço extra para garantir vantagem competitiva, a principal delas. Os esforços extras são direcionados para desenvolver projetos que promovam retorno financeiro e estratégico (Korotkov e Wu 2020). Com isso, setores internos são criados exclusivamente para realizar a gestão dos seus projetos, cabendo à área de Sistemas da Informação (SI) desenvolver soluções

para dar suporte às tomadas de decisão. O controle gerencial fornece à organização subsídios para compreender o quão alinhado está seu desempenho com os objetivos estratégicos. De acordo com Antunes (2006), uma das maneiras de se promover esse alinhamento são através do uso de sistemas de informação e/ou ferramentas computacionais. Rigby *et al.* (2009), afirma que a adoção de ferramentas informatizadas permite às organizações definirem um melhor plano de ação, e assim, compreender quais fatores devem ser considerados na formulação das estratégias e quais as ações devem ser implementadas.

### 1.1 Contextualização

A Teoria Moderna do Portfólio (TMP) introduzida Markowitz (1952), é amplamente utilizada na área de gestão de fundos de investimentos e na otimização de portfólio de quaisquer ativos. Em resumo, a TMP pode ser vista como um conjunto de melhores práticas para a escolha de ativos com o intuito de compor um portfólio ótimo, levando em consideração três aspectos: (1) a relação risco-retorno; (2) a diversificação de investimentos; e (3) a fronteira eficiente. Sendo o terceiro, o último aspecto de grande importância, pois refere-se ao conjunto de investimento otimizados, que apresentam a melhor relação risco-retorno possível.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) tem por objetivo medir empiricamente a eficiência de Diferentes Unidades Produtivas (DMUs), determinando assim, a eficiência de um determinado projeto sobre diferentes variáveis. Com a utilização da DEA, é possível chegar a um determinado valor para cada uma das DMUs analisadas e assim classificá-las de acordo com sua eficiência dentro do escopo definido, mostrando quais DMUs estão na fronteira de eficiência. Assim, é possível escolher dentre dezenas ou centenas de alternativas, qual irá compor o portfólio de projetos de uma organização e ainda definir um “*ranque*” de prioridades, resolvendo desta forma, um problema de decisão multicritério complexo.

### 1.1 Trabalhos Relacionados

Existe quantidade significativa de trabalhos relacionados à temática deste estudo, com diversos modelos e métodos aplicado na gestão de portfólios de projetos. Em uma breve revisão literária, foram identificados e estudados alguns destes trabalhos.

**Khalili-Damghani e Tavana (2014a):** desenvolveram uma proposta de seleção em duas fases: a primeira estabelece projetos promissores a partir de um planejamento estratégico e conceitos de sustentabilidade; na segunda, há uma seleção de portfólios de projetos a partir de seus níveis operacionais e análise de recursos utilizados.

**Khalili-Damghani e Tavana (2014b):** utiliza uma estrutura fuzzy para escolha de portfólio. Os múltiplos objetivos são considerados como variáveis de entrada em um sistema Fuzzy Rule-Based (FRB) para estimar possíveis portfólios.

**da Silva *et al.* (2017):** apresenta uma metodologia para a seleção de portfólios em empresas públicas baseada no método PROMETHEE V. Este método visa a construção de um modelo de decisão multicritério para avaliar os problemas da gestão de portfólios.

**Fonseca *et al.* (2018):** faz uma avaliação do desempenho de fundos de investimento brasileiros em ações, comparando retornos reais e indicadores paramétricos e não paramétricos de performance com os *scores* de eficiência relativa da Análise Envoltória de Dados (DEA) e com o modelo não paramétrico proposto por Banker *et al.* (1984).

**Pereira (2018):** analisa o problema de otimização de carteiras em mercados com volatilidade estocástica tendo como critério de otimização a maximização de utilidade da riqueza final.

**Silva *et al.* (2019):** apresenta a composição de um portfólio otimizado, criando e comparando três carteiras a partir das companhias pertencentes ao IBrX50: a primeira, pela abordagem de Sharpe; a segunda, obtida pela DEA; e a terceira associando a DEA com a abordagem de Sharpe.

Embora seja um tema muito difundido e com muitos trabalhos publicados aplicando a DEA para analisar carteiras de investimentos, poucos exemplos são encontrados na literatura onde a DEA é utilizada como mecanismo de escolha. Outro fator relevante que encorajou a realização desta pesquisa foi à ausência de trabalhos que aplica a DEA exclusivamente para criar “*ranqueamentos*” para a escolha de portfólios. Esta lacuna endereça este trabalho como uma possível alternativa a ser adotada para auxiliar à tomada de decisão com base na escolha de projetos para a composição de melhores portfólios.

## 2. CONCEITOS GERAIS

O entendimento de que a diversificação é fundamental para reduzir os riscos de carteiras de investimentos é amplamente aceito e difundido no meio corporativo e nos centros acadêmicos de ensino e pesquisas. A partir dos estudos de Markowitz (1952), essa ideia ganhou suporte teórico e matemático.

### 2.1 Teoria Moderna dos Portfólios

A Teoria Moderna do Portfólio (TMP) é um modelo de definição de portfólios, também conhecido como carteiras de investimento, a partir da análise de grandes quantidades de dados e principalmente dos riscos e da conexão entre os diferentes ativos disponíveis. A ideia básica da TMP é formar um portfólio de ativos a partir da análise dos riscos que maximize a possibilidade de retorno para um dado nível de risco. Assim, o modelo matemático da TMP reconhece, dentre as infinitas possibilidades de combinações entre  $n$  ativos diferentes, aquelas que se localizam na fronteira eficiente, *i.é.*, estabelecer uma curva que une todas as carteiras capazes de gerar o máximo retorno possível, para cada nível de risco.

Apesar de ter sido formulada há 70 anos, essa metodologia continua sendo a principal base para a formação de carteiras na grande maioria das instituições financeiras e gestoras de recursos e sua aplicação prática vem sendo aperfeiçoada ao longo do tempo Pfau (2020). O avanço tecnológico também permitiu grande disseminação do modelo na medida em que foi inserido o poder computacional necessário para utilizá-la com grande volume de dados concretos, como pode ser visto em Wang *et al.* (2020) onde cita diversos exemplos da adoção do modelo nos últimos anos.

### 2.2 Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados tem como objetivo estimar a eficiência técnica sem recorrer ao arbítrio de pesos para cada variável de entrada ou saída, e sem converter todas as variáveis em valores econômicos comparáveis. Conforme Cooper *et al.* (2011), a DEA utiliza técnicas de programação matemática para lidar com grandes membros das variáveis e as relações/restrições para flexibilizar as exigências que são frequentemente encontradas em problema de análise multicritério. Kumar e Gulati (2008) afirma que a DEA é uma técnica de programação linear não paramétrica para medir a eficiência relativa de unidade tomadoras de decisão com *inputs* e *outputs* comuns. Enquanto Marr *et al.* (2005), diz que em termos econômicos, a DEA compara o desempenho de unidades tomadoras de decisão (DMU) que agem sob a mesma tecnologia.

Para melhor entender a DEA, seus conceitos e sua composição estrutural, são necessários à ciência e compreensão dos seguintes conceitos.

**Decision Making Unit (DMU):** são as unidades tomadoras de decisão analisadas. Essas unidades devem ser homogêneas, ou seja, que utilizam os mesmos recursos de entrada (*inputs*) para obter os mesmos produtos na saída (*outputs*);

**Outputs:** são os produtos ou resultados obtidos por cada uma das DMUs, e atendem ao critério de quanto maior, melhor;

**Inputs:** são os recursos (insumos) consumidos pelas DMUs para obterem os resultados desejados. Eles atendem o critério de quanto menor, melhor;

**Score de Eficiência:** é o resultado / *score* de eficiência calculado para cada DMU através de um Programa de Programação Linear (PPL), com indicador variando de 0 a 100 %. sendo que um *score* de eficiência calculado com maior taxa percentual, identifica a unidade avaliada como mais eficiente em relação às demais Pimentel e Nova (2005).

**Plano de Produção (PP):** são as quantidades observadas de *inputs* consumidos e *outputs* obtidos por cada DMU de acordo com o *score* de eficiência alcançado.

### 2.3 Produtividade X Eficiência

A produtividade é a relação entre os recursos utilizados e a produção final e que expressa à eficiência de qualquer negócio, *i.é.*, é o resultado da capacidade de produzir ou de gerar um produto de acordo com o escopo do projeto previamente definido. Em suma, a produtividade calcula como os recursos serão utilizados em relação aos objetivos da empresa.

A eficiência é o resultado competente da execução de um conjunto de funções e procedimentos da maneira correta ou de acordo com o plano de ação previamente programado. A análise da eficiência de uma companhia avalia os níveis de realização na parte produtiva da organização, *i.é.*, a eficiência da produção diz o quanto se produz em relação ao quanto se deveria estar produzindo. A definição de eficiência formulada por Cooper *et al.* (2007) diz que uma DMU é eficiente se e somente se seu índice é 1 e todas as folgas forem iguais a 0 (zero), caso contrário, a unidade deve ser qualificada como ineficiente. As folgas definidas por Cooper *et al.* (2007) são alocadas tanto para os insumos quanto para os produtos.

O conceito *PARETO-KOOPMANS* é comumente usado para mensurar a eficiência técnica de um produto tem como característica um vetor input-output, onde um DMU é eficiente se somente se:

- Nenhum dos *outputs* possa ser aumentado sem que algum *input* necessite ser aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido;
- Nenhum dos *inputs* possa ser reduzido sem que algum *input* necessite ser aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido.

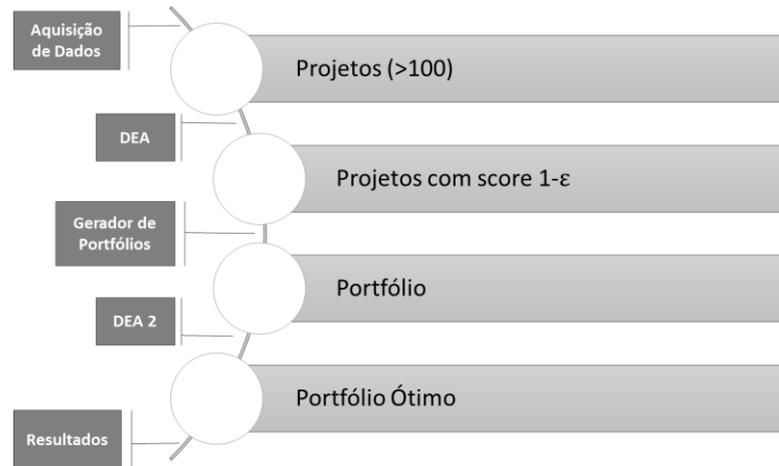
Segundo Belloni *et al.* (2000), a eficiência técnica está relacionada aos conceitos de racionalidade econômica e de produtividade material, e implica na habilidade gerencial para atingir metas pré-estabelecidas. Em outras palavras, a eficiência produtiva é a habilidade de evitar desperdícios e utilizar o mínimo de recursos possíveis no processo produtivo para atingir os resultados esperados. Já a eficiência de escala, ainda segundo Belloni *et al.* (2000), é um componente da eficiência produtiva associado às variações da produtividade decorrentes das mudanças na escala de operação.

### 3. MÉTODOS, TÉCNICAS E FERRAMENTAS

Como visto, esta pesquisa apresenta uma proposta para tratar o problema de composição de portfólios a partir de escolhas de projetos eficientes. Inicialmente, foi feito um mapeamento

literário para identificar lacunas sobre o tema proposto. O estudo secundário mostrou que a escolha de portfólios eficientes por “ranqueamento” seria uma boa oportunidade de pesquisa em conjunto com algoritmos e recursos computacionais, dado que estes são comumente usados para otimizar carteiras de investimentos. O passo seguinte foi realizar um *brainstorming*<sup>1</sup> entre os integrantes do estudo a fim de levantar soluções possíveis. A proposta de aplicação da DEA juntamente com a metodologia TMP apresentou-se como uma solução viável e prática.

Desta forma, foi modelado uma proposta com objetivo de calcular a carteira de projetos mais eficientes dentro de uma restrição orçamentária, apresentada na Figura 1.



**Figura 1 – Visão geral do modelo proposto**

Sendo:

- **Aquisição dos dados:** recursos, custo, receita e delta – valor relativo entre  $0 \sim 1$  – referente aos projetos analisados (maior que 100);
- **DEA:** calcula a produtividade relativa de cada um dos projetos inferindo-os um score (entre  $0 \sim 1$ );
- **Projetos com score 1-epsilon ( $1-\epsilon$ ):** onde épsilon é definido pelo gestor, gerando um número máximo dos 10 mais eficientes;
- **Geração de portfólios:** gera todos os portfólios possíveis, obedecendo à restrição orçamentária imposta;
- **Portfólios:** Lista de todos os portfólios possíveis gerados;
- **DEA 2:** Calcula a produtividade relativa dos portfólios gerados para determinar qual o portfólio de maior produtividade;
- **Resultados / Portfólio ótimo:** Relação dos portfólios mais eficientes.

### 3.1 Modelagem da Proposta

Para modelar a proposta é essencial definir a região do espaço definido pelas variáveis de decisão delimitada pelas restrições, cuja fronteira determina e localiza o ótimo da função. O modelo possibilita ainda codificar o algoritmo (DEA) para a análise dos dados de forma clara e precisa.

O modelo proposto para identificação e escolha dos portfólios mais eficientes a partir da aplicação de recursos pode ser formalmente descrito pela função objetivo da equação 1:

<sup>1</sup> **Brainstorming (tempestade de ideias):** reunião em ambiente corporativo onde os participantes são estimulados a debater sobre possíveis soluções para um problema, expondo suas visões com abordagens inovadoras e práticas.

$$\arg_{ec_i \in EC} \max C_{(ec_i)} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$C_{(ec_i)} \leq B \quad (2)$$

Onde:

- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ : o conjunto das propostas de projetos de pesquisa;
- $PP = 2^A$ : o conjunto de todas as carteiras possíveis destes projetos;
- $EC = \{ec_1, ec_2, \dots, ec_n\}$ : conjunto das carteiras eficientes de  $PP$ ;
- $B$ : o orçamento destinado a carteira de projetos;
- $C(ec_i)$ : custo dos projetos da carteira  $ec_i$ .

A partir da definição formal do modelo para a escolha de portfólio com base na eficiência e custo, foram desenvolvido os Algoritmos 1 e 2.

### 3.2 Algoritmos Analíticos

Os projetos suscetíveis à composição de um portfólio são armazenados no arquivo *xlsProjetos*. O Algoritmo 1 é o responsável pelo processamento deste arquivo, onde: (1) cada um dos projetos tem como atributos de entrada (*input*) o número de pessoas envolvidas e o custo total do projeto; (2) os atributos de saída (*output*), assim como o valor presente líquido do projeto é uma variável que representa os valores intangíveis de cada um dos projetos podendo assumir valores entre 0 e 1, sendo 0 para nenhum valor e 1 para valor total; e (3) o orçamento, que é o valor máximo para a composição do portfólio, dado pela função: (*restricaoOrçamento*).

A partir dos atributos extraídos do arquivo *xlsProjetos* é realizado uma DEA com os *input* e *output* fornecidos. Após a execução, é gerada uma lista ordenada com os projetos (*listOrd*) a em função da variável de performance gerada na DEA (*eff*). A partir da delimitação criada pela função (*xlsProjetos.orcamento*), os projetos que obtiverem maior eficiência na DEA e estiverem dentro do orçamento são armazenados em (*portProj*), que sempre considera o portfólio mais eficiente que poderá ser criado. A Figura 2 apresenta o pseudocódigo do Algoritmo 1.

<b>Algoritmo 1:</b> Método para Criação da Melhor Carteira Possível	
	<i>Entrada:</i> <i>xlsProjetos</i>
	<i>Saída:</i> Carteiras possíveis dentro do orçamento
1	<i>inicio</i>
2	<i>input</i> ← MontarMatriz ( <i>xlsProjetos.recurso</i> , <i>xlsProjetos.custo</i> )
3	<i>output</i> ← MontarMatriz ( <i>xlsProjetos.delta</i> , <i>xlsProjetos.receita</i> )
4	<i>PP</i> ← dea ( <i>input</i> , <i>output</i> , ORIENTATION = "in")
5	<i>ordenada</i> ← Ordena ( <i>PP</i> )
6	<i>listaOrd</i> ← Listar ( <i>ordenada</i> , <i>projetos[ordenada]</i> )
7	enquanto ( <i>portProj.custo.soma</i> + <i>listaOrd[custo]</i> ≤ <i>xlsProjetos.orcamento</i> ) faça
8	<i>portProj.carteira</i> ← <i>listaOrd[projeto]</i>
9	<i>portProj.custo.soma</i> ← <i>portProj.custo.soma</i> + <i>listaOrd[custo]</i>
10	<i>fim</i>
11	retorna <i>portProj</i>
12	<i>fim</i>

Figura 2: Algoritmo 1 – Método para criação da melhor carteira possível

O Algoritmo 2, recebe a carteira criada pelo Algoritmo 1 (*portProj*) e as carteiras criadas aleatoriamente, que utilizam como base a mesma variação de projetos do arquivo *xlsProjetos*, usado no Algoritmo 1, para assim comparar a eficiência do portfólio criado. Para realização da

comparação da eficiência, os valores das duas carteiras são concatenados e é realizada uma DEA nos mesmos padrões aplicados no Algoritmo 1. No entanto, este procedimento é realizado nos portfólios criados. Ao final da execução do Algoritmo 2 é possível que seja comparado os resultados de eficiência entre os dois portfólios para assim, possivelmente, dar confiabilidade ao portfólio gerado no Algoritmo 1. A Figura 3, apresenta o pseudocódigo do Algoritmo 2.

<b>Algoritmo 2:</b> Método Identificação dos Melhores Cenários	
<i>Entrada:</i> portProj, xlsPfTeste	
<i>Saída:</i> Performance comparativa entre as carteiras	
1	<i>início</i>
2	carteira ← portProj
3	vet1in ← Concatenar (carteira.recurso , xlsPfTeste.recurso)
4	vet2in ← Concatenar (carteira.custo , xlsPfTeste.custo)
5	vet1out ← Concatenar (carteira.delta , xlsPfTeste.delta)
6	vet2out ← Concatenar (carteira.receita , xlsPfTeste.receita)
7	input ← MontarMatriz (vet1in, vet2in)
8	output ← MontarMatriz (vet1out, vet2out)
9	PP ← dea (input, output, ORIENTATION= ``in")
10	Exibir (PP)
11	retorna PP
12	<i>fim</i>

**Figura 3: Algoritmo 2 – Método de identificação dos melhores cenários**

#### 4. CENÁRIOS E TESTES APLICADOS

Para identificar a eficiência do método de escolha de portfólios e validá-lo, foram elaborados cinco cenários com quantidades diferentes de projetos. A ideia é analisar cada caso com um total de 10 execuções a partir das definições pré-estabelecidas em cada cenário para a geração do portfólio ótimo.

##### 4.1 Cenários Analisados

Os cenários e a ordem dos testes executados possuem as seguintes características:

- **Cenário 1:** número de projetos = 100, número de execuções = 10 vezes;
- **Cenário 2:** número de projetos = 300, número de execuções = 10 vezes;
- **Cenário 3:** número de projetos = 600, número de execuções = 10 vezes;
- **Cenário 4:** número de projetos = 900, número de execuções = 10 vezes;
- **Cenário 5:** número de projetos = 1200, número de execuções = 10 vezes.

Para cada portfólio gerado, foi estipulado um limite orçamentário de sessenta por cento (60%) do valor da soma dos custos de todos os projetos. Além disso, em todos os casos, também foram geradas carteiras de projetos selecionados aleatoriamente.

##### 4.2 Medição do Desempenho

Com os critérios estabelecidos na seção 4.1, é possível calcular a performance de cada um dos projetos agrupando os projetos de melhor performance, assim tem-se uma carteira de melhor performance selecionando os projetos de maior custo. Desta forma, serão selecionados os projetos com melhor performance relativa.

Para validar se a carteira formada pelo algoritmo com os melhores projetos é melhor que uma carteira qualquer, foi feito um comparativo de todas as carteiras formadas para cada

um dos cenários, incluindo as carteiras geradas aleatoriamente. O propósito é garantir que o algoritmo está gerando sempre os portfólios mais eficientes para cada cenário testado.

### 4.3 Testes e Resultados

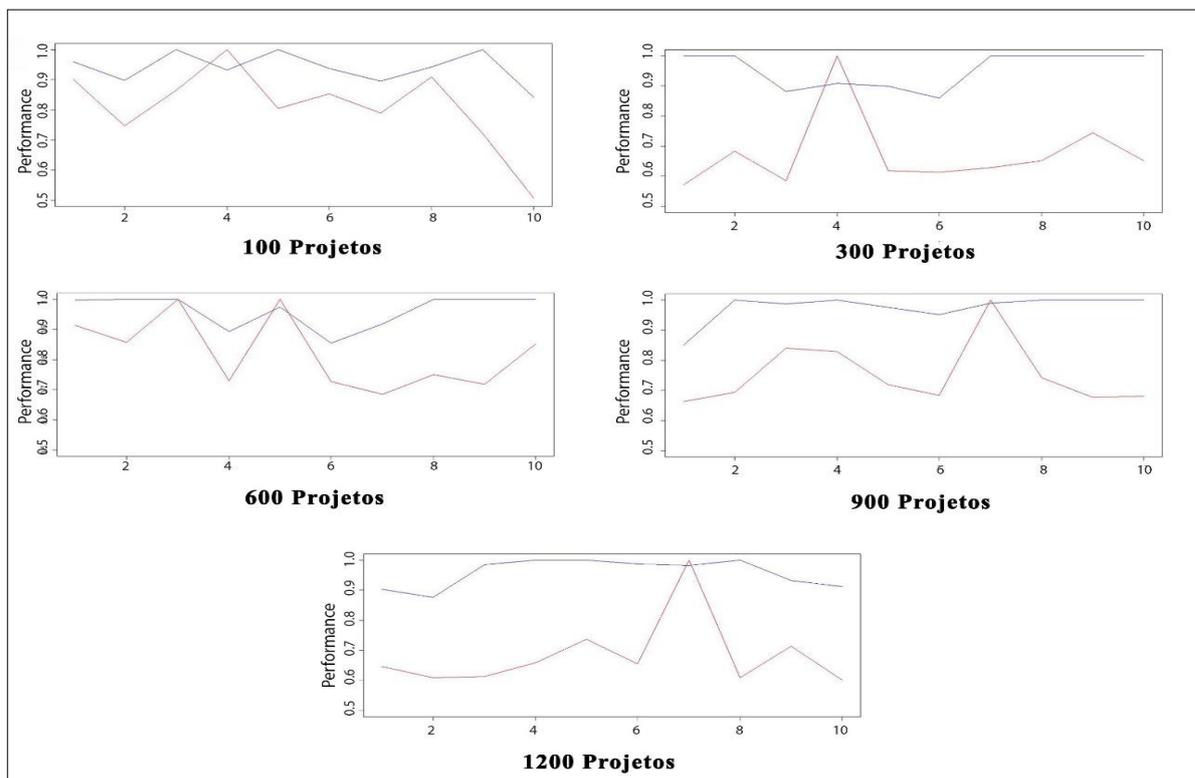
Como primeira fase dos testes, foram analisados o tempo de execução do algoritmo nas diferentes variáveis delimitadas, para assim estabelecer uma análise a respeito da escalabilidade do referido algoritmo. A Tabela 1 apresenta os resultados dos testes aplicados para medir o desempenho dos algoritmos.

**Tabela 1: Resultado do tempo de execução dos testes aplicados**

Cenários	Número de projetos	Tempo de execução (em segundos)
1	100	9,3
2	300	22,4
3	600	49,02
4	900	63,62
5	1200	84,86

Outra análise realizada refere-se à comparação dos resultados entre os portfólios gerados pelos algoritmos e os portfólios gerados aleatoriamente. Para isso, foi criado para cada um dos testes, um gráfico para realização da análise de comparação de similaridade entre os dois métodos de criação de projetos. Isto foi feito, baseando-se nos resultados de eficiência da DEA calculados no Algoritmo 2, onde cada portfólio recebe um valor entre 0 e 1, sendo 1 o valor representativo para um portfólio eficiente e 0 para inexistência de portfólios eficientes.

A Figura 4 apresenta a comparação de resultados de eficiência entre os dois modelos analisados. Para efeitos de comparação, os gráficos foram “plotados” com duas as linhas. A linha na cor azul representa os portfólios criados a partir do algoritmo em cada cenário, já a linha vermelha os portfólios gerados aleatoriamente.



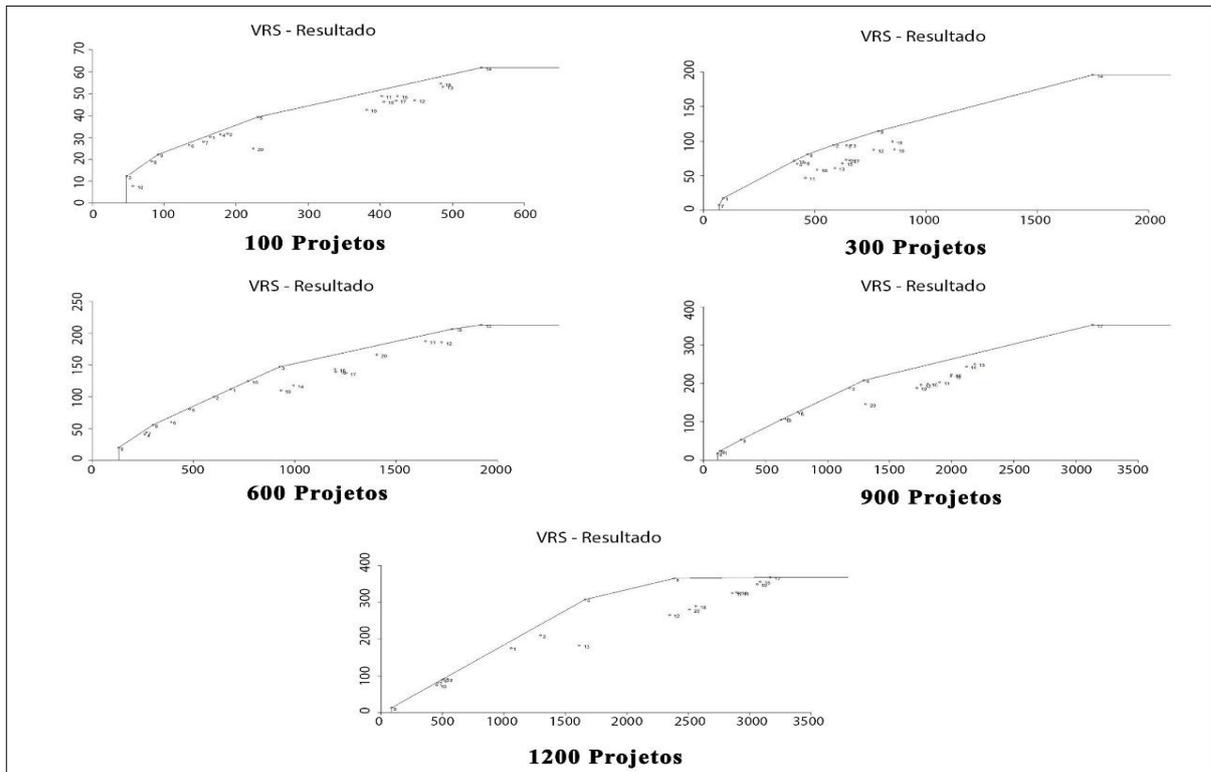
**Figura 4: Comparação de eficiência entre portfólios (algoritmos X aleatórios)**

Analisando os gráficos é possível notar que para cada uma das 10 execuções em cada cenário, em 88% dos casos analisados, o algoritmo criou portfólios mais eficientes do que aqueles criados aleatoriamente. Do total de execuções processadas, houve empate entre os dois métodos em duas, e somente 10% das vezes o portfólio aleatório foi melhor. Assim, com base nos resultados colhidos, é seguro afirmar que o método heurístico se aproxima do resultado ótimo de forma significativa. A Tabela 2 apresenta os resultados numericamente.

**Tabela 2: Resultado do tempo de execução dos testes aplicados**

Execuções	Cenário 1 / 100		Cenário 2 / 300		Cenário 3 / 600		Cenário 4 / 900		Cenário 5 / 1200	
	DEA	Aleat.	DEA	Aleat.	DEA	Aleat.	DEA	Aleat.	DEA	Aleat.
1	<b>0,9587</b>	0,9000	<b>1,0000</b>	0,5719	<b>0,9974</b>	0,9132	<b>0,8504</b>	0,6632	<b>0,9028</b>	0,6470
2	<b>0,8978</b>	0,7475	<b>1,0000</b>	0,6837	<b>0,9995</b>	0,8569	<b>1,0000</b>	0,6934	<b>0,8761</b>	0,6098
3	<b>1,0000</b>	0,8642	<b>0,8812</b>	0,5849	<b>1,0000</b>	1,0000	<b>0,9870</b>	0,8401	<b>0,9843</b>	0,6139
4	<b>0,9326</b>	1,0000	<b>0,9079</b>	1,0000	<b>0,8929</b>	0,7292	<b>1,0000</b>	0,8286	<b>1,0000</b>	0,6595
5	<b>1,0000</b>	0,8051	<b>0,8988</b>	0,6179	<b>0,9748</b>	1,0000	<b>0,9756</b>	0,7187	<b>1,0000</b>	0,7368
6	<b>0,9370</b>	0,8526	<b>0,8598</b>	0,6140	<b>0,8547</b>	0,7270	<b>0,9514</b>	0,6835	<b>0,9868</b>	0,6556
7	<b>0,8947</b>	0,7894	<b>1,0000</b>	0,6282	<b>0,9179</b>	0,6844	<b>0,9894</b>	1,0000	<b>0,9819</b>	1,0000
8	<b>0,9427</b>	0,9087	<b>1,0000</b>	0,6517	<b>1,0000</b>	0,7493	<b>1,0000</b>	0,7428	<b>1,0000</b>	0,6092
9	<b>1,0000</b>	0,7221	<b>1,0000</b>	0,7451	<b>1,0000</b>	0,7177	<b>1,0000</b>	0,6768	<b>0,9319</b>	0,7146
10	<b>0,8421</b>	0,5076	<b>1,0000</b>	0,6514	<b>1,0000</b>	0,8519	<b>1,0000</b>	0,6807	<b>0,9123</b>	0,6019

Para uma melhor acurácia na análise dos resultados, foi gerado outro gráfico gerado com foco na fronteira de eficiência a partir dos dados coletados da DEA. Neste gráfico os nós que estiverem mais perto da curva de eficiência relativa são os nós que possuem uma maior eficiência em relação aos nós que estão mais distantes desta curva. A Figura 5 apresenta os gráficos gerados para todos os cenários.



**Figura 5: Comparação da fronteira de eficiência (algoritmo X aleatoriamente)**

Note que os nós de 1 até 10 representam os portfólios de cada uma das execuções dos algoritmos, já os nós de 11 até 20, são os portfólios gerados pelo método aleatório.

#### 4.4 Análise Empírica dos Resultados

A análise dos dados, evidenciou algumas questões importantes a respeito da composição de um portfólio eficiente, como: (1) o aumento da quantidade de projetos é precedido por um aumento no tempo de execução do algoritmo, e (2) apesar do tempo de execução do algoritmo crescer exponencialmente, isto não inutiliza esta proposta, já que os valores apresentados são relativamente baixos.

Outra questão importante analisada durante os testes é em relação à disparidade entre os resultados de eficiência dos portfólios criados pelo algoritmo em comparação com aqueles criados aleatoriamente. Ao analisar os gráficos da Figura 4, é possível perceber que somente em uma execução em cada teste, foi constatado que o método aleatório teve maior eficiência em comparação ao método proposto, representando apenas 10% de todas as execuções/vezes analisadas pelos algoritmos, isto independentemente da quantidade de projetos de projetos analisados em cada cenário.

A convergência dos resultados mostra que a DEA gera portfólios eficientes, validando à proposta de utilização do DEA para geração de portfólios de projetos que tiveram sua eficiência comprovada. A convergência entre projetos e portfólios eficientes pode ser constatada no gráfico de curva de eficiência apresentado na figura 5, onde os cenários de portfólio eficientes estão mais próximos da curva de eficiência de portfólio, criados a partir do algoritmo desenvolvido.

#### 5. Conclusão

A principal contribuição deste trabalho é apresentar uma alternativa para a seleção de um portfólio de projetos eficiente e que esteja alinhado aos objetivos estratégicos das organizações. Isto foi possível a partir análise dos *inputs*, como: recursos gasto (número de pessoas), custo total do projeto, receita (Valor Presente Líquido - VPL) e delta (valor intangível) de cada projeto. Com isso, espera-se que esta proposta gere conhecimento que permita facilitar o gerenciamento da distribuição orçamentária destinada aos projetos, visando o melhor retorno estratégico para uma determinada organização.

Este trabalho deixou de cobrir alguns pontos, elencando-os como trabalhos futuros ou frentes de pesquisas em aberto para outros pesquisadores interessados nesta área. Dentre as principais lacunas, podem ser destacadas: (1) analisar a utilização deste algoritmo em cenários reais para confirmar ainda mais sua eficácia, uma vez que utilizou-se dados artificiais gerados por um algoritmo próprio; (2) fazer uma análise comparativa com modelos de maturidade existentes na área de gerenciamento de projetos com o intuito de estabelecer, a partir da utilização do algoritmo para melhorias no controle de risco do gerenciamento de projetos; e (3) editar as variáveis de análise, tais como as de maiores eficiências com foco na procura pelo maior custo por projetos, menor custo por projeto e/ou maior ou menor receita.

#### 6. REFERÊNCIAS

ANTUNES, E. A. (2006). Características da complexidade do ambiente e do processo contínuo de formação de estratégias e a relação entre ambos. 211 f. Dissertação (Mestrado em Administração); Universidade de Brasília (UnB); Brasília – DF.

- BANKER, R. D., CHARNES, A., COOPER, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9):1078–1092.
- BELLONI, J. A. (2000). Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de universidades federais brasileiras; Tese de Doutorado; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Florianópolis – SC.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with model, applications, references and DEA-solver software*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- COOPER, W. W., SEIFORD, L. M., AND ZHU, J. (2011). *Data envelopment analysis: History, models, and interpretations*. Handbook on data envelopment analysis, pages 1–39. Springer.
- DA SILVA, L. B. L. D. (2019). Modelo multicritério para alocação de recursos no setor elétrico com base no promethee v usando o conceito de portfólio c-ótimo. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco.
- DA SILVA, L. B. L., PALHA, R. P., DE ALMEIDA, A. T. (2017). Portfólio c-ótimo na priorização de projetos em obras públicas: um estudo de caso no governo de pernambuco. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPR)*.
- FONSECA, S. E., FERNANDES, A. R., CUNHA, C. L., IQUIAPAZA, R. A. (2018). Fundos de investimento: Performance aplicando modelo carhart e análise envoltória de dados. *Revista de Administração Contemporânea*, 22(3):355–379.
- HO, L.-A. (2008). What affects organizational performance? *Industrial Management & Data Systems*; Volume 108, Issue 9. DOI: 10.1108/02635570810914919.
- KHALILI-DAMGHANI, K. TAVANA, M. (2014A). A comprehensive framework for sustainable project portfolio selection based on structural equation modeling. *Project Management Journal*, 45(2):83–97.
- KHALILI-DAMGHANI, K. TAVANA, M. (2014b). A new two-stage Stackelberg fuzzy data envelopment analysis model; *Elsevier Measurement Vol. 53*, pp. 277-296.
- KOROTKOV, V., WU, D. (2020). Evaluating the quality of solutions in project portfolio selection. *Omega*, Volume 91, 102029,
- KUMAR, S., GULATI, R. (2008). An examination of technical, pure technical, and scale efficiencies in indian public sector banks using data envelopment analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 1(2):33–69.
- MARKOWITZ, H. (1952). Portfolio selection, *The journal of finance*, The Journal of Finance, Vol. VII, 1952, Markowitz HM – 1952 –, pages 77–91.
- MARR, B., LEITNER, K. H., SCHAFFHAUSER-LINZATTI, M., STOWASSER, R., WAGNER, K. (2005). Data envelopment analysis as method for evaluating intellectual capital. *Journal of Intellectual Capital*, Volume 6, Issue 4.
- PEREIRA, D. A. (2018). Portfolio optimization of stochastic volatility models through the dynamic programming equations, *Dissertação de Mestrado*, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa-PT.
- PIMENTEL, R. C., NOVA, S. P. D. C. C. (2005). Modelo integrado de avaliação da rentabilidade e liquidez: estudo da aplicação da data envelopment analysis (dea) a empresas brasileiras. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.

PFAU, W.; Modern Portfolio Theory; Forbes Magazine; Feb, 20, 2020. Disponível em: <<<https://www.forbes.com/sites/wadepfau/2020/02/20/modern-portfoliotheory/#47095ae952d3>>>. Último acesso em: 24 de junho de 2020.

RIGBY, D. K. (2009). Ferramentas de gestão: Um guia para executivos., Bain & Company Global Consulting, São Paulo-SP.

SILVA, A. F., DE OLIVEIRA, R. S., RIBEIRO, K. C. S. (2019). Otimização de carteiras de investimento: Aplicações no ibrx50, Revista de Auditoria Governança e Contabilidade (RAGC), Volume 7, Nr 27.

WANG, W., LI, W., ZHANG, N., KECHENG, L.; Portfolio formation with preselection using deep learning from long-term financial data. Expert Systems With Applications, [s.l.], v. 143, p. 113042, abr. 2020. Elsevier BV. << <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113042>.>>