

## **Análise do Impacto da Incerteza na Seleção de Portfólio de Projetos por meio de Simulação**

**Guilherme A. Barucke Marcondes**

Instituto Nacional de Telecomunicação.

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá

guilherme@inatel.br

**Rafael C. Leme**

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá

leme@unifei.edu.br

### **RESUMO**

Embora a literatura apresente o estudo de muitos modelos de seleção de portfólio de projetos, muitas organizações ainda lutam para fazer a escolha mais adequada, visando aos resultados mais benéficos. O uso da abordagem Média-Gini para seleção de portfólio de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) vem ganhando destaque, apesar dos estudos não levarem em consideração a incerteza sobre os parâmetros da distribuição do retorno dos projetos. Este artigo discute o impacto da incerteza nos parâmetros dos projetos na seleção do portfólio, por meio da abordagem Média-Gini. No processo de avaliação, a simulação de Monte Carlo é utilizada. Os resultados mostram que a influência da incerteza é significativa o suficiente para levar os gestores a decisões equivocadas.

**PALAVRAS CHAVE.** Seleção de projetos. Média-Gini. Incerteza. Erro de estimação.

**Área Principal:** ADM - Apoio à Decisão Multicritério

### **ABSTRACT**

Although a variety of models have been studied for project portfolio selection, many organizations still struggle to choose a potentially diverse range of projects while ensuring the most beneficial results. The use of the Mean-Gini framework to select portfolios of research and development (R&D) projects has been gaining attention in the literature despite the fact that such approaches do not consider uncertainty over the projects' return distributions. This paper discusses the impact of uncertainty in projects' parameters, through the Medium-Gini approach. In the process, Monte Carlo simulation is considered in evaluating the impact of parametric uncertainty on project selection. The results show that the influence of uncertainty is significant enough to mislead managers.

**KEYWORDS.** Project selection. Mean-Gini. Uncertainty. Estimation error.

**Main Area:** MDS - Multicriterion Decision Support

## 1. Introdução

Em virtude da limitação de recursos, gerentes precisam, frequentemente, selecionar projetos de P&D a serem executados dentre uma lista de projetos candidatos (ARCHER; GHASEMZA-DEH, 1999; EILAT et al., 2006; URLI; TERRIEN, 2010; CULLMANN et al., 2012; CASAULT et al., 2013; ABBASSI et al., 2014; DUTRA et al., 2014; PEREZ; GOMEZ, 2014). Isto conduz à necessidade de priorização entre projetos candidatos, excluindo as opções não eficientes, que possam levar a perdas na busca pelo melhor conjunto de projetos (PEREZ; GOMEZ, 2014).

Uma das etapas do gerenciamento de projetos, que desperta cada vez mais interesse de pesquisadores e empresas, é a seleção do portfólio a ser executado e a correta distribuição dos recursos entre os projetos, um de seus elementos essenciais (URLI; TERRIEN, 2010). Em geral, a análise aplicada à seleção do portfólio de projetos é similar àquela empregada na seleção de portfólios financeiros e busca a diversificação como forma de minimização do risco, que é uma das principais características dos projetos de P&D (EILAT et al., 2006; CASAULT et al., 2013).

Markowitz (1952) apresentou um trabalho pioneiro no estudo da seleção de portfólio, estabelecendo a estratégia ótima para maximizar o retorno e minimizar a variância associada. Por esta abordagem, a fronteira eficiente pode ser identificada. Um portfólio é eficiente se, para um dado nível de variância, nenhum outro portfólio apresenta retorno esperado maior. De forma semelhante, para um dado nível de retorno esperado, um portfólio é eficiente se não existir outro portfólio com menor variância.

A abordagem de Markowitz (1952) tem sido empregada de forma direta para seleção de projetos de P&D (SEFAIR; MEDAGLIA, 2005; YU et al., 2012; GUTJAHR; FROESCHL, 2013; CHO; SHAW, 2013; ZOPOUNIDIS et al., 2014). Porém, como demonstrou Feldstein (1969), ela somente apresenta resultados confiáveis quando o retorno é normalmente distribuído ou o tomador de decisão segue uma função de utilidade quadrática. Estas suposições são muito restritivas para os problemas reais de seleção de projetos (BETTER; GLOVER, 2006).

Desta forma, muitos trabalhos têm contribuído para aperfeiçoar a análise com suposições menos restritivas. O próprio Markowitz (1959) apresentou uma abordagem baseada na média e na semivariância, que também foi utilizada por Yang et al. (2011) e Zhang et al. (2011). Roy (1952) e Sefair e Medaglia (2005) empregaram a probabilidade crítica como meio de avaliar o risco do portfólio. Dickinson et al. (2001) apresentaram a seleção de projetos por meio do valor presente líquido e da probabilidade de sucesso do projeto. Ghapanchi et al. (2012) aplicaram a análise por envoltória de dados com a mesma finalidade. Por sua vez, Lim et al. (2011) utilizaram uma proposta de otimização de portfólio considerando a média e o valor condicional em risco.

Shalit e Yitzhaki (1984) introduziram uma nova abordagem aplicada à análise de portfólio utilizando coeficiente de Gini como medida de risco. O coeficiente de Gini é uma medida de dispersão estatística proposta por Gini (1912) para representar a distribuição de renda em um país ou uma região. Ele é definido como a distância esperada entre duas realizações da mesma variável aleatória. Apesar de seu objetivo original, ele tem sido empregado como medida de dispersão.

Essa abordagem é conhecida como média-Gini (MG) e Ringuest et al. (2004) adaptaram para seleção de portfólio de projetos de P&D. A abordagem MG é simples e intuitiva, aplicável a todos os tomadores de decisão avessos ao risco e tem sido aplicada na seleção de projetos relacionados à tecnologia (GEMICI-OZKAN et al., 2010). Ainda, como grande vantagem, por esta abordagem não é necessário se conhecer a função utilidade do tomador de decisão (RINGUEST et al., 2004).

Na solução do portfólio MG, Ringuest et al. (2004) partem da premissa de que a distribuição do retorno de cada projeto é conhecida, de forma que a avaliação não incorpora o erro de estimativa dos parâmetros dos projetos na sua modelagem. No caso apresentado, os gerentes devem escolher os projetos pelos valores exatos obtidos do modelo matemático. Porém, nos casos reais, os parâmetros dos projetos não são conhecidos no momento da decisão.

O respeitado guia Project Management Body of Knowledge (PMBOK<sup>®</sup>) (PMI, 2013)

sugere que os parâmetros do projeto sejam estimados pelo julgamento de especialistas ou por entrevistas. Na aplicação destas técnicas, diferenças entre as estimativas dos especialistas acontecem, levando à incerteza dos parâmetros. A partir dos valores estimados, simulações de Monte Carlo (SMC) podem ser realizadas na análise quantitativa de risco. Entretanto, a flutuação dos valores dos parâmetros dos projetos pode afetar fortemente a definição do portfólio de projetos. Na realidade, a incerteza nos parâmetros tem um papel importante na seleção do portfólio.

Jobson e Korkie (1980), Michaud (1989), Best e Grauer (1991) e Chopra e Ziemba (1993) discutiram o impacto do erro de estimação na definição do portfólio ótimo, sendo a estimação do retorno esperado o parâmetro que mais impacta o resultado. Apesar de diversos trabalhos apresentarem abordagens de seleção de projetos considerando a incerteza (BHATTACHARYYA et al., 2011; HILDEBRANDT; KNOKE, 2011; GHAPANCHI et al., 2012; DUTRA et al., 2014; HASSANZADEH et al., 2014; MANSINI et al., 2014; PEREZ; GOMEZ, 2014, entre outros), poucos trabalhos discutiram o impacto da incerteza na fronteira eficiente na análise de portfólio de projetos. É importante notar que, neste caso, a fronteira eficiente é discreta, o que pode agravar o impacto dos erros de estimação.

Assim, este trabalho avalia o impacto da incerteza dos parâmetros de projetos de P&D na seleção dos portfólios ótimos e na definição da fronteira eficiente. Para isto, a seleção de portfólio por meio da abordagem MG é utilizada em conjunto com SMC. A utilização da SMC é útil quando o modelo matemático é muito difícil (ou impossível) de ser definido. Abordagens baseadas em simulação são também usadas por Better e Glover (2006) e Shakhsh-Niaei et al. (2011).

Os resultados são apresentados com um conjunto de projetos fictícios utilizados por Ringuest et al. (2004). A ideia desse artigo é discutir o impacto das incertezas na estimação de parâmetros na fronteira eficiente para análise e seleção de portfólio de projetos.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 define os conceitos de erro e incerteza empregados neste trabalho. A Seção 3 apresenta o modelo de portfólio Média-Gini para seleção de projetos. A Seção 4 avalia como o erro de estimação afeta a seleção do portfólio de projetos e a fronteira eficiente. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 5.

## **2. Risco e Incerteza na Seleção de Portfólio de Projetos**

Risco e incerteza são conceitos muito próximos e tratados como sinônimos em alguns casos (SANDERSON, 2012). O PMBOK<sup>®</sup> define risco como um evento ou condição incerta que, se ocorrer, pode ter um efeito positivo ou negativo sobre pelo menos um objetivo do projeto, tal como tempo, custo, escopo e qualidade. Ele também reconhece risco como o efeito da incerteza sobre projetos e objetivos organizacionais. Além disso, incerteza e risco podem ser vistos como causa e consequência, sendo o risco uma das implicações da incerteza (PERMINOVA et al., 2008).

Knight (1964) foi um dos primeiros autores a diferenciar risco e incerteza. O autor define incerteza como um evento ao qual não se pode atribuir uma probabilidade de ocorrência, enquanto que para o risco uma probabilidade de ocorrência pode ser atribuída. Para Bannerman (2008), o risco é uma ameaça previsível (“desconhecido conhecido”) e incerteza uma ameaça imprevisível (“desconhecido desconhecido”). Já Cleden (2009) define incerteza como uma medida intangível de “não conhecemos” e risco como o que pode ocorrer em virtude da falta de conhecimento.

Existem diferenças nos conceitos, mas é importante distinguir incerteza e risco para entender a correta influência individual de cada um deles no desempenho do projeto (PERMINOVA et al., 2008; PETIT, 2012). As definições gerais sobre incerteza e risco englobam o gerenciamento do portfólio de projetos, no qual se busca gerenciar os riscos na medida em que os projetos são executados. Neste trabalho, contudo, o que se busca é a análise e a seleção do portfólio de projetos antes de se iniciar sua execução. Assim, os projetos devem ser avaliados de acordo com as informações estimadas e selecionados visando ao melhor atendimento dos objetivos estratégicos da empresa e a um determinado nível de retorno e risco.

A avaliação de risco em um projeto engloba diversos processos, que inclui a análise quantitativa de risco. O PMI (2013) define essa análise como a abordagem de, numericamente, avaliar

o efeito de todos os riscos e incertezas identificados sobre os objetivos do projeto. Este trabalho considera as definições de incerteza e risco de maneira similar ao apresentado por Jaafari (2001):

- Incerteza: a probabilidade de que os parâmetros do projeto não atinjam seus valores esperados (estimados);
- Risco: a exposição à perda ou ao ganho com base em alguma medida estatística.

As definições de risco e incerteza são aplicadas neste trabalho para a seleção de portfólio de projetos, sendo o risco dos projetos e dos portfólios medido pelo coeficiente de Gini. Como discutido anteriormente, este coeficiente é uma medida de dispersão estatística proposta por Gini (1912) para representar a distribuição de renda em um país ou uma região. Apesar de seu objetivo original, ele tem sido empregado como medida de dispersão. A sua aplicação na medida de risco de portfólio de projetos é apresentada a seguir.

### 3. Seleção de Portfólio de Projetos pela Média-Gini

A aplicação do coeficiente de Gini como medida de risco na seleção de portfólio foi proposta inicialmente por Shalit e Yitzhaki (1984, 1989, 2005), como uma alternativa à tradicional abordagem MV. A abordagem MG é menos restritiva do que a abordagem MV, pois não depende nem da suposição da normalidade da distribuição do retorno estimado e nem da função de utilidade quadrática. Contudo, apesar de diferente, a abordagem MG mantém a simplicidade da abordagem MV.

A aplicação da abordagem MG na seleção de portfólio de projetos de P&D foi proposta por Ringuest et al. (2004) e Graves e Ringuest (2009). Os autores consideram o método simples e intuitivo e que requer poucos parâmetros, permitindo a construção da fronteira eficiente.

O retorno esperado (média) de um portfólio é a soma dos retornos esperados dos projetos que o compõem, como apresentado na Equação (1)

$$R_P = \sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \quad (1)$$

em que  $x_i \in \{0, 1\}$  representa a inclusão ou não do projeto  $i$  no portfólio,  $R_i$  é o retorno esperado para o projeto  $i$  e  $N$  é o total de projetos a serem considerados para o portfólio.

O coeficiente de Gini é definido como a distância esperada entre duas realizações da mesma variável aleatória. Shalit e Yitzhaki (1984) propuseram o cálculo numérico do coeficiente de Gini como duas vezes a covariância entre o retorno  $R_P$  e sua função de distribuição cumulativa  $F(R_P)$ , como apresentado na Equação (2).

$$\Gamma_P = 2 \cdot \text{cov} [R_P, F(R_P)] \quad (2)$$

Para análise da fronteira eficiente, é necessário identificar os portfólios dominantes e não dominantes. Os portfólios dominantes definem, então, a fronteira eficiente. Na abordagem MG, um portfólio  $k$  é dominado pelo portfólio  $m$  se

$$R_{P_m} \geq R_{P_k} \quad (3)$$

e

$$\Gamma_{P_m} \leq \Gamma_{P_k} \quad (4)$$

de forma que, pelo menos uma das condições (3) e (4) seja satisfeita por desigualdade.

Usando as condições (3) e (4), Ringuest et al. (2004) propõem o emprego do algoritmo *branch-and-bound* (proposto por Land e Doig (1960)) para construir a fronteira eficiente

de portfólios de projetos. Com base no retorno esperado dos projetos, para cada portfólio avaliado são calculados o retorno esperado e seu coeficiente de Gini. O algoritmo inicia a “árvore” *branch-and-bound* com o portfólio que inclui todos os projetos na primeira “linha”. A partir dele, a “linha” seguinte traz todos os portfólios que incluem todos os projetos menos um. Todos os portfólios das duas primeiras “linhas” são comparados para definir aqueles que são dominados. Os portfólios dominados são excluídos do processo de análise, assim como os portfólios que derivariam dele. Desta forma, a “árvore” do *branch-and-bound* prossegue somente pela derivação dos portfólios dominantes. Os portfólios da terceira “linha” são formados, então, pelas combinações que excluem um dos projetos dos portfólios não dominados da segunda “linha”. Esta sequência é seguida até que se atinja a “linha” em que somente existam portfólios formados por um único projeto ou até que em uma dada “linha” todos os portfólios sejam dominados <sup>1</sup>.

Ao final da análise, os portfólios não dominados compõem a fronteira eficiente, a partir da qual o tomador de decisão pode selecionar o portfólio de projetos a ser executado. A partir dos portfólios incluídos na fronteira eficiente, Ringuest et al. (2004) empregam, então, o critério da dominância estocástica para seleção final, assim como proposto por Graves e Ringuest (2009). Porém, diversos outros critérios podem ser empregados. O importante é observar que os portfólios incluídos na fronteira eficiente são aqueles recomendados para execução, de forma que nenhum outro se apresenta mais eficiente do que eles, considerando a abordagem empregada e os mesmos níveis de retorno e risco.

Na seleção de portfólio empregada por Ringuest et al. (2004) e descrita nesta seção, as distribuições dos retornos esperados dos projetos sob avaliação são consideradas como conhecidas. Entretanto, este não é o caso dos projetos no dia-a-dia das organizações. Desta forma, a Seção 4 discute o impacto da incerteza de estimação de parâmetros na seleção do portfólio de projetos e sua influência na decisão.

#### **4. O Papel da Incerteza dos Parâmetros - Experimentos Numéricos**

A abordagem de seleção MG, apresentada na Seção 3, emprega dois parâmetros dos portfólios de projeto na sua avaliação: retorno e coeficiente de Gini. Se a distribuição do retorno de cada projeto é conhecida, o retorno do portfólio e seu coeficiente de Gini podem ser calculados diretamente. Na prática, porém, as distribuições dos retornos dos projetos são desconhecidas e devem ser estimadas segundo as informações disponíveis, o que, em geral, leva a incertezas.

A incerteza na estimação dos parâmetros pode levar ao desempenho ruim da seleção de portfólio de projetos. Este impacto na escolha do portfólio foi apresentado por Jobson e Korkie (1980), Michaud (1989), Best e Grauer (1991) e Chopra e Ziemba (1993), que mostraram o importante papel que a incerteza tem na definição do portfólio eficiente.

Para explicitar o impacto da incerteza na definição do portfólio de projeto, este trabalho utiliza o exemplo apresentado por Ringuest et al. (2004). Nele, um conjunto de cinco projetos é avaliado, na definição da fronteira eficiente. Os dados de cada projeto são apresentados na Tabela 1, em que a segunda e terceira colunas apresentam os valores esperados para retorno alto (sucesso) e retorno baixo (fracasso), respectivamente, e a quarta coluna apresenta a probabilidade de ocorrência do retorno alto (probabilidade de sucesso).

Se nenhum erro de estimação dos parâmetros dos projetos é considerado, a fronteira eficiente é formada pelos portfólios: ABCE, ACE, BCE, AC, CE e C <sup>2</sup>. A Tabela 2 apresenta resultados obtidos por Ringuest et al. (2004) (“original”) da segunda à quarta coluna.

Como forma de avaliar o impacto do erro de estimação dos parâmetros dos projetos sobre o resultado da seleção do portfólio, é considerada, primeiramente, uma incerteza de  $\pm 10\%$  na probabilidade de sucesso do projeto B. Esta incerteza provoca um impacto nos retornos dos portfólios que incluem este projeto, assim como em seus coeficientes de Gini, o que pode afetar a fronteira

<sup>1</sup>Para mais detalhes sobre o procedimento empregado, ver (RINGUEST et al., 2004)

<sup>2</sup>Os resultados foram extraídos de Ringuest et al. (2004). A notação de identificação dos portfólios também segue Ringuest et al. (2004). Por exemplo, no portfólio ABCE estão incluídos os projetos A, B, C e E

Tabela 1: Conjunto de Cinco Projetos de (RINGUEST et al., 2004).

Projeto	Retorno Alto	Retorno baixo	P(Retorno Alto)
A	500	0	0,5
B	1000	-250	0,5
C	250	0	0,5
D	250	-250	0,5
E	350	-100	0,5

Tabela 2: Média e Coeficiente de Gini - Incerteza nos Parâmetros do Projeto B

Projeto B Prob. Suc.	0,50 - "original"			0,45			0,55		
	Média	Gini	Efic.	Média	Gini	Efic.	Média	Gini	Efic.
ABCE	875,0	441,67	SIM	812,5	437,50	SIM	937,5	445,83	SIM
BCE	625,0	439,29	SIM	562,5	430,36	SIM	687,5	448,21	NÃO
ACE	500,0	232,14	SIM	500,0	232,14	SIM	500,0	232,14	SIM
AC	375,0	208,33	SIM	375,0	208,33	SIM	375,0	208,33	SIM
CE	250,0	191,67	SIM	250,0	191,67	SIM	250,0	191,67	SIM
C	125,0	125,00	SIM	125,0	125,00	SIM	125,0	125,00	SIM

eficiente. Isto acontece, pois na presença da incerteza, a probabilidade de sucesso pode ter valores que variam de 0,45 a 0,55, ao invés de ter uma probabilidade de sucesso sempre igual a 0,50. Assim, para avaliar o impacto desta incerteza sobre este parâmetro, a fronteira eficiente foi reavaliada para os casos extremos (probabilidade de sucesso do projeto B igual a 0,45 e a 0,55), comparando com a fronteira eficiente obtida pelo resultado "original" de Ringuest et al. (2004). Estes resultados são apresentados da quinta à décima colunas da Tabela 2.

Quando a probabilidade de sucesso do projeto B é igual a 0,55, observa-se pela Tabela 2 que a fronteira eficiente passa a ser formada pelos portfólios: ABCE, ACE, AC, CE and C. Diferentemente do caso "original", o portfólio BCE não mais aparece na fronteira eficiente. Na fronteira original, o portfólio BCE não é dominado por nenhum outro, pois apresenta um coeficiente de Gini um pouco menor do que o do portfólio ABCE. Com a alteração na probabilidade de sucesso no projeto B, o coeficiente de Gini do portfólio BCE aumentou de 439,39 para 448,21, e seu retorno aumentou de 625,0 para 687,5. De forma similar, o portfólio ABCE também foi impactado pela incerteza no parâmetro do projeto B e seu retorno variou de 875,0 para 937,5 seu coeficiente de Gini aumentou de 441,67 para 445,83. Assim, o portfólio BCE passou a ser dominado pelo portfólio ABCE e deixou de figurar na fronteira eficiente. Este exemplo demonstra que uma pequena perturbação no parâmetro de um projeto pode levar o tomador de decisão a uma escolha equivocada.

Por outro lado, quando a probabilidade de sucesso do projeto B é de 0,45, a relação de portfólios incluídos na fronteira eficiente não se altera. Porém, a fronteira eficiente é, de fato, alterada, uma vez que os valores de retorno e coeficiente de Gini de alguns portfólios são diferentes. Todos os portfólios que incluem o projeto B tiveram seus retornos reduzidos em 62,5 e seus coeficientes de Gini foram reduzidos de 2,02 a 20,83, dependendo do portfólio. A Figura 1 ilustra a fronteira eficiente "original" e as fronteiras eficientes para os casos de variação do parâmetro do projeto B.

Comportamento parecido pode ser encontrado quando é considerada uma incerteza de  $\pm 10\%$  sobre a probabilidade de sucesso do projeto D. Também neste caso, a avaliação foi feita para os casos extremos de probabilidade de sucesso igual a 0,45 e a 0,55. A resultados mostrados na Tabela 3 destacam que, quando a probabilidade de sucesso do projeto D é de 0,55, os portfólios ABCDE e ACDE tornam-se eficientes e o conjunto eficiente passa a ser: ABCDE, ABCE, ACDE, ACE, BCE, AC, CE e C. No resultado "original", o portfólio ABCDE foi dominado pelo portfólio ABCE e o portfólio ACDE foi dominado pelo portfólio ACE. Como ocorrido com a incerteza no

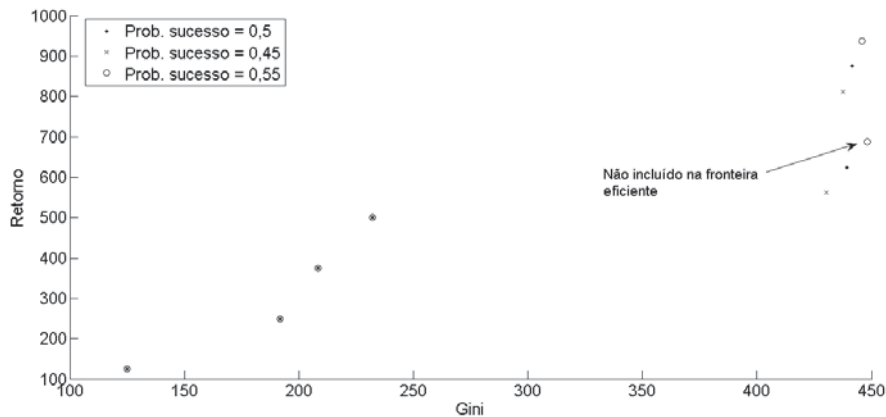


Figura 1: Fronteira Eficiente - Variação da Probabilidade de Sucesso do Projeto B.

Tabela 3: Média e Coeficiente de Gini - Incerteza no Parâmetro do Projeto D

Projeto D Prob. Suc.	0,50 - "original"			0,45			0,55		
Portfólio	Média	Gini	Efic.	Média	Gini	Efic.	Média	Gini	Efic.
ABCDE	875,0	452,12	NÃO	850,0	451,31	NÃO	900,0	452,92	SIM
ABCE	875,0	441,67	SIM	875,0	441,67	SIM	875,0	441,67	SIM
ACDE	500,0	264,17	NÃO	600,0	440,00	NÃO	525,0	265,83	SIM
BCE	625,0	439,29	SIM	625,0	439,29	SIM	625,0	439,29	SIM
ACE	500,0	232,14	SIM	500,0	232,14	SIM	500,0	232,14	SIM
AC	375,0	208,33	SIM	375,0	208,33	SIM	375,0	208,33	SIM
CE	250,0	191,67	SIM	250,0	191,67	SIM	250,0	191,67	SIM
C	125,0	125,00	SIM	125,00	125,00	SIM	125,0	125,00	SIM

projeto B, quando a probabilidade de sucesso do projeto D foi de 0,45, não houve alteração do conjunto de portfólios eficientes, em comparação com o resultado "original", apesar a fronteira eficiente ser diferente. Interessante notar que, no resultado "original", o projeto D não está incluído em nenhum dos portfólios eficientes. Assim, a incerteza sobre o parâmetro do projeto D pode induzir o tomador de decisão a incluir o projeto D na escolha. Os resultados obtidos com a variação sobre o parâmetro do projeto D são apresentados no gráfico da Figura 2.

Como forma adicional de avaliar o impacto sobre a incerteza dos parâmetros dos projetos sobre o conjunto de portfólios eficientes, uma simulação foi realizada considerando diferentes níveis de incerteza sobre a probabilidade de sucesso de todos os projetos simultaneamente. Neste caso, foram empregadas SMCs, com 2.000 réplicas cada uma, considerando os níveis de incerteza de  $\pm 1\%$ ,  $\pm 2\%$ ,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 15\%$  e  $\pm 20\%$  sobre a probabilidade de sucesso dos cinco projetos, para a definição do conjunto de portfólios incluídos na fronteira eficiente. Estes resultados foram comparados com os resultados obtidos na fronteira eficiente "original" da Tabela 1. A Figura 3 mostra, para cada condição de incerteza, qual a porcentagem de vezes em que o conjunto eficiente de portfólios foi igual ao conjunto "original", ou seja, quando a probabilidade de sucesso é igual a 0,50 para todos os projetos.

Pelo gráfico apresentado na Figura 3, pode-se observar que o mesmo conjunto obtido na fronteira eficiente "original" é corretamente identificado em, no máximo, 55% das execuções da SMC, quando a incerteza considerada é de  $\pm 1\%$ . Assim, se todos os projetos possuem uma incerteza de  $\pm 1\%$  na probabilidade de sucesso, o mesmo conjunto de portfólios eficientes só é obtido em, no máximo, 55% dos casos. Tal resultado é muito ruim, quando se observa o objetivo de selecionar o portfólio de projetos a ser executado. Na medida em que a incerteza sobre a probabilidade

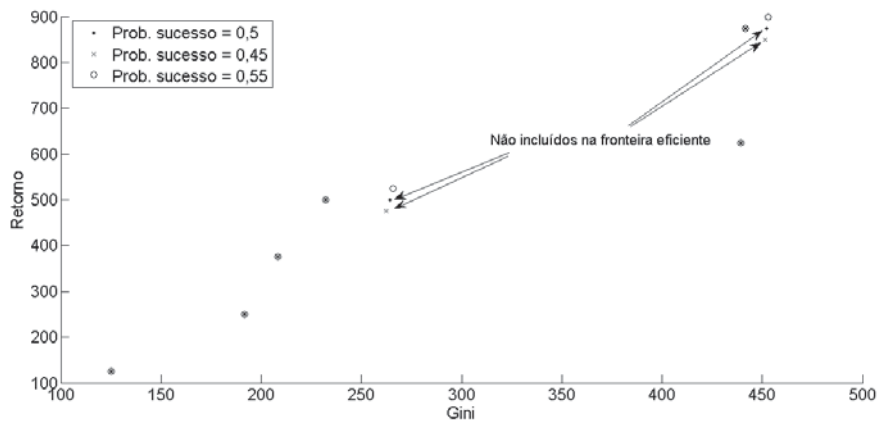


Figura 2: Fronteira Eficiente - Variação da Probabilidade de Sucesso do Projeto D.

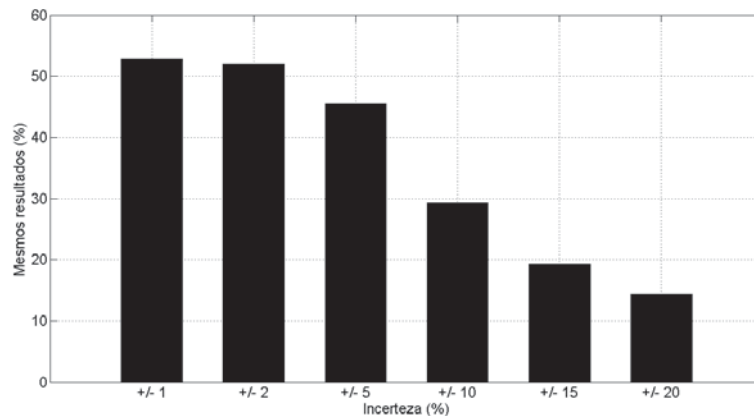


Figura 3: Resultados da SMC considerando todos os projetos incertos.

de sucesso dos projetos aumenta, a frequência com que o mesmo conjunto de portfólios eficientes é identificada fica ainda menor. Se a incerteza é de  $\pm 10\%$ , o conjunto de portfólios eficientes “original” é obtido somente em torno de 30% das vezes, sendo que este percentual cai para próximo de 15% se a incerteza nos parâmetros dos projetos é de  $\pm 20\%$ . Estes resultados sugerem que a incerteza na seleção de portfólios discretos (como é o caso dos portfólios de projetos) pode ter impactos ainda piores se comparados com os casos de seleção de portfólios contínuos.

O gráfico da Figura 4 ilustra o exemplo em que a incerteza sobre as probabilidades de sucesso de todos os projetos é de  $\pm 10\%$ , para 2.000 réplicas de SMC. Nele podem ser observadas diversas “nuvens” representando os valores do retorno e do coeficiente de Gini obtidos para os portfólios que foram incluídos na fronteira eficiente, pelo menos uma vez, durante a simulação. Se tomados, por exemplo, os portfólios AC e CE, que são eficientes no resultado “original”, o impacto da incerteza pode ser claramente identificado. Dependendo da combinação de incertezas dos projetos, o portfólio AC pode dominar o portfólio CE, excluindo este da fronteira eficiente. Por outro lado, portfólios que no resultado “original” não são eficientes, como, por exemplo, os portfólios ACDE e ABCDE, em algumas réplicas da simulação realizada figuram na fronteira eficiente.

Os resultados apresentados demonstram que a incerteza tem uma importante influência na fronteira eficiente e na definição do conjunto de portfólios eficientes. Apesar de Jobson e Korkie



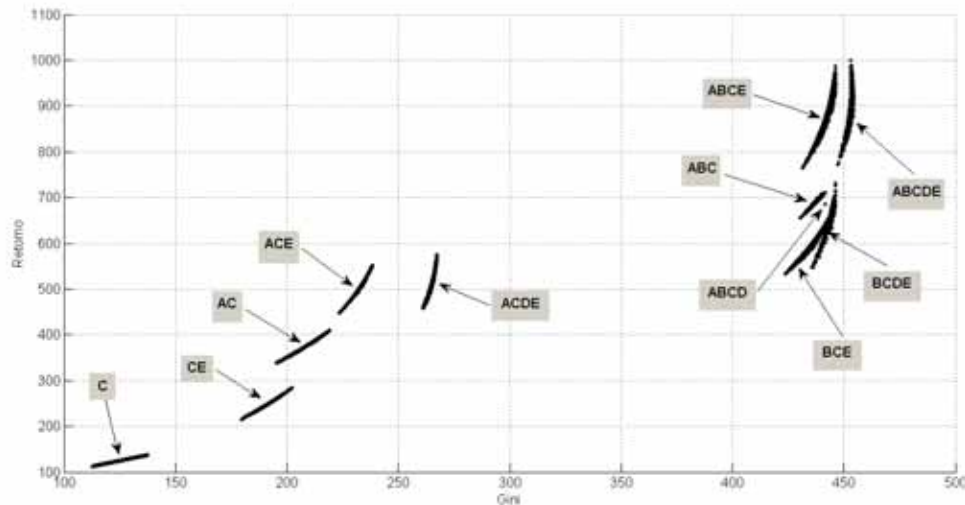


Figura 4: Fronteira Eficiente - Incerteza em todos os projetos simultaneamente.

(1980), Michaud (1989), Best e Grauer (1991) e Chopra e Ziemba (1993) já terem observado o impacto do erro de estimação na seleção de portfólios, o caso explorado neste trabalho avalia seu impacto na seleção de portfólios quando a fronteira eficiente é discreta.

## 5. Discussão e Conclusões

Em geral, o resultado do projeto é estimado por especialistas. Os parâmetros estimados são utilizados para avaliar, entre outras informações, a distribuição do retorno esperado. Diferentes avaliações, portanto, geram uma incerteza nos parâmetros dos projetos. Neste sentido, este trabalho apresenta uma discussão sobre o impacto da incerteza na seleção do portfólio de projetos.

A análise realizada estuda o impacto, na fronteira eficiente, das incertezas nos parâmetros. Para isso, utilizou-se a abordagem Média-Gini para seleção de portfólios de projetos, pois esta não requer suposições da distribuição do retorno estimado e nem da função de utilidade quadrática. Além disso, a simulação de Monte Carlo é utilizada para realizar a análise da fronteira eficiente sob incertezas nos parâmetros.

Pelos resultados obtidos, é possível observar que a incerteza desempenha um papel importante na definição dos portfólios eficientes. As experiências e simulações realizadas mostraram que, mesmo com um nível de incerteza baixo, o método empregado na seleção pode levar o tomador de decisão, em muitas situações, a escolhas equivocadas. Na medida em que a incerteza aumenta, este impacto é maior. Este impacto é ainda mais relevante nos casos em que a fronteira eficiente é discreta, como na seleção de portfólios de projetos.

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem a importância da adoção de um método de seleção de portfólio de projetos que considere a análise quantitativa de risco e que leve em conta a incerteza dos parâmetros. Tais métodos podem levar a uma escolha mais robusta do portfólio de projetos.

## Referências

ABBASSI, M.; ASHRAFI, M.; TASHNIZI, E. S. Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A cross-entropy based methodology. *Technovation*, v. 34, n. 1, p. 54–63, 2014.

ARCHER, N. P.; GHASEMZADEH, F. An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, v. 17, n. 4, p. 207–216, 1999.

- BANNERMAN, P. L. Risk and risk management in software projects: A reassessment. *The Journal of Systems and Software*, v. 81, n. 12, p. 2118–2133, 2008.
- BEST, M. J.; GRAUER, R. R. On the sensitivity of mean-variance-efficient portfolios to changes in asset means: some analytical and computational results. *The Review of Financial Studies*, v. 4, n. 2, p. 315–342, 1991.
- BETTER, M.; GLOVER, F. Selecting project portfolios by optimizing simulations. *The Engineering Economist*, v. 51, n. 2, p. 81–98, 2006.
- BHATTACHARYYA, R.; KUMAR, P.; KAR, S. Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*, v. 62, n. 10, p. 3857–3870, 2011.
- CASAULT, S.; GROEN, A. J.; LINTON, J. D. Selection of a portfolio of R&D projects. In: LINK, A. N.; VONORTAS, N. S. (Ed.). *Handbook on the Theory and Practice of Program Evaluation*. [S.l.]: Edward Elgar, 2013. p. 89–111.
- CHO, W.; SHAW, M. J. Portfolio selection model for enhancing information technology synergy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 60, n. 4, p. 739–749, 2013.
- CHOPRA, V. K.; ZIEMBA, W. T. The effect of errors in means, variances, and covariances on optimal portfolio choice. *The Journal of Portfolio Management*, v. 19, n. 2, p. 6–11, 1993.
- CLEDEN, D. *Managing Project Uncertainty*. [S.l.]: Gower, 2009.
- CULLMANN, A.; SCHMIDT-EHMCKEY, J.; ZLOCZYSTI, P. R&D efficiency and barriers to entry: a two stage semi-parametric dea approach. *Oxford Economic Papers*, v. 64, n. 1, p. 176–196, 2012.
- DICKINSON, M.; THORNTON, A.; GRAVES, S. Technology portfolio management: optimizing interdependent projects over multiple time periods. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, v. 48, n. 4, p. 518–527, 2001.
- DUTRA, C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; CARVALHO, M. M. de. An economic-probabilistic model for project selection and prioritization. *International Journal of Project Management*, v. 32, n. 6, p. 1042–1055, 2014.
- EILAT, H.; GOLANY, B.; SHTUB, A. Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A dea based methodology. *European Journal of Operational Research*, v. 172, n. 3, p. 1018–1039, 2006.
- FELDSTEIN, M. S. Mean-variance analysis in the theory of liquidity preference and portfolio selection. *The Review of Economic Studies*, v. 36, n. 1, p. 5–12, 1969.
- GEMICI-OZKAN, B.; WU, S. D.; LINDEROTH, J. T.; MOORE, J. E. R&D project portfolio analysis for the semiconductor industry. *Operations Research*, v. 58, n. 6, p. 1548–1563, 2010.
- GHAPANCHI, A. H.; TAVANA, M.; KHAKBAZ, M. H.; LOW, G. A methodology for selecting portfolios of projects with interactions and under uncertainty. *International Journal of Project Management*, v. 30, n. 7, p. 791–803, 2012.
- GINI, C. *Variabilità e Mutabilità: contributo allo Studio delle distribuzioni e delle relazioni statistiche*. [S.l.]: C. Cuppini, 1912. Bologna.

- GRAVES, S. B.; RINGUEST, J. L. Probabilistic dominance criteria for comparing uncertain alternatives: A tutorial. *Omega*, v. 37, n. 2, p. 346–357, 2009.
- GUTJAHR, W. J.; FROESCHL, K. A. Project portfolio selection under uncertainty with outsourcing opportunities. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, v. 25, n. 1-2, p. 255–281, 2013.
- HASSANZADEH, F.; NEMATI, H.; SUN, M. Robust optimization fo interactive programming with imprecise information applied to R&D project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 2014. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.023](http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.023).
- HILDEBRANDT, P.; KNOKE, T. Investment decisions under uncertainty? a methodological review on forest science studies. *Forest Policy and Economics*, v. 13, n. 1, p. 1–15, 2011.
- JAAFARI, A. Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift. *International Journal of Project Management*, v. 19, n. 2, p. 89 – 101, 2001.
- JOBSON, J. D.; KORKIE, B. Estimation for markowitz efficient portfolios. *Journal of the American Statistical Association*, v. 75, p. 544–554, 1980.
- KNIGHT, F. H. *Risk, Uncertainty, and Profit*. [S.l.]: Augustus M. Kelleyhn, 1964. Orig. pub. 1921.
- LAND, A. H.; DOIG, A. G. An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*, v. 28, n. 3, p. 497–520, 1960.
- LIM, A. E.; SHANTHIKUMAR, J. G.; VAHN, G.-Y. Conditional value-at-risk in portfolio optimization: Coherent but fragile. *Operations Research Letters*, v. 39, n. 3, p. 163–171, 2011.
- MANSINI, R.; OGRYCZAK, W.; SPERANZA, M. G. Twenty years of linear programming based portfolio optimization. *European Journal of Operational Research*, v. 234, n. 2, p. 518–535, 2014.
- MARKOWITZ, H. Portfolio selection. *Journal of Finance*, v. 7, p. 77–91, 1952.
- MARKOWITZ, H. M. *Portfolio selection: efficient diversification of investments*. [S.l.]: Wiley, 1959.
- MICHAUD, R. O. The markowitz optimization enigma: Is optimized optimal? *Financial Analysts Journal*, v. 45, p. 31–42, 1989.
- PEREZ, F.; GOMEZ, T. Multiobjective project portfolio selection with fuzzy constraints. *Annals of Operations Research*, v. 236, p. 1–23, 2014.
- PERMINOVA, O.; GUSTAFSSON, M.; WIKSTRÖM, K. Defining uncertainty in projects - a new perspective. *International Journal of Project Management*, v. 26, n. 1, p. 73 – 79, 2008. European Academy of Management (EURAM 2007) Conference.
- PETIT, Y. Project portfolios in dynamic environments: Organizing for uncertainty. *International Journal of Project Management*, v. 30, n. 5, p. 539–553, 2012.
- PMI. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. 5 ed.. ed. [S.l.]: Project Management Institute, 2013.
- RINGUEST, J. L.; GRAVES, S. B.; H., C. R. Mean-gini analysis in R&D portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, v. 154, n. 1, p. 157–169, 2004.

- ROY, A. D. Safety first and the holding of assets. *Econometrica*, v. 20, p. 431–449, 1952.
- SANDERSON, J. Risk, uncertainty and governance in megaprojects: A critical discussion of alternative explanations. *International Journal of Project Management*, v. 30, n. 4, p. 432–443, 2012.
- SEFAIR, J.; MEDAGLIA, A. Towards a model for selection and scheduling of risky projects. In: *Systems and Information Engineering Design Symposium, 2005 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 158–164.
- SHAKHSI-NIAEI, M.; TORABI, S.; IRANMANESH, S. A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints. *Computers & Industrial Engineering*, v. 61, n. 1, p. 226–237, 2011.
- SHALIT, H.; YITZHAKI, S. Mean-gini, portfolio theory, and the pricing of risky assets. *The Journal of Finance*, v. 39, n. 5, p. 1449–1468, 1984.
- SHALIT, H.; YITZHAKI, S. Evaluating the mean-gini approach to portfolio selection. *The International Journal of Finance*, v. 1, n. 2, p. 15–31, 1989.
- SHALIT, H.; YITZHAKI, S. The mean-gini efficient portfolio frontier. *The Journal of Finance Research*, XXVIII, n. 1, p. 59–75, 2005.
- URLI, B.; TERRIEN, F. Project portfolio selection model, a realistic approach. *INTERNATIONAL TRANSACTIONS IN OPERATIONAL RESEARCH*, v. 17, n. 6, p. 809–826, 2010.
- YANG, S. C.; LIN, T. L.; CHANG, T. J.; CHANG, K. J. A semi-variance portfolio selection model for military investment assets. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 3, p. 2292–2301, 2011.
- YU, L.; WANG, S.; WEN, F.; LAI, K. K. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. *Annals of Operations Research*, v. 197, n. 1, p. 71–86, 2012.
- ZHANG, W. G.; MEI, Q.; LU, Q.; XIAO, W. L. Evaluating methods of investment project and optimizing models of portfolio selection in fuzzy uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, v. 61, n. 3, p. 721–728, 2011.
- ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M.; FABOZZI, F. J. Preface to the special issue: 60 years following harry markowitz's contributions in portfolio theory and operations research. *European Journal of Operational Research*, v. 234, n. 2, p. 343–345, 2014.