



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUCAS BORGES LEAL DA SILVA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS NO SETOR
ELÉTRICO COM BASE NO PROMETHEE V USANDO O CONCEITO DE
PORTFÓLIO C-ÓTIMO**

Recife

2019

LUCAS BORGES LEAL DA SILVA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS NO SETOR
ELÉTRICO COM BASE NO PROMETHEE V USANDO O CONCEITO DE
PORTFÓLIO C-ÓTIMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586m Silva, Lucas Borges Leal da.
Modelo multicritério para alocação de recursos no setor elétrico com base no PROMETHEE V usando o conceito de portfólio c-ótimo / Lucas Borges Leal da Silva. – 2019.
77 folhas, fig., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Alocação de recursos. 3. Portfólio de projetos. 4. PROMETHEE c-ótimo. 5. Setor elétrico. I. Almeida, Adiel Teixeira de. (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-128

LUCAS BORGES LEAL DA SILVA

MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ELICITAÇÃO POR TRADEOFF INTERATIVO E FLEXÍVEL PARA A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO E PARA A TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 21/02/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Adiel Teixeira De Almeida, *PhD* (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Ana Paula Cabral Seixas Costa, Doutora (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. André Marques Cavalcanti, Doutor (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por me conceder fortaleza para superar os desafios da vida, determinação para alcançar meus sonhos e serenidade para lidar com as dificuldades.

A meus pais, Antônio e Patrícia, meu irmão, Gabriel, minha namorada, Maria Clara, e demais familiares, pela compreensão e apoio incondicional ao longo desta etapa, sempre torcendo por minhas decisões pessoais e profissionais.

Ao professor e orientador Adiel Teixeira de Almeida, pelo acompanhamento, prontidão, auxílio e amizade desde o início de minha vida acadêmica na Iniciação Científica. Meu profundo respeito e admiração.

Aos demais professores do Departamento, em especial a Marcelo Hazin Alencar e Jonatas Araújo de Almeida, pelos conselhos, convivência e parceria nesta jornada. Certamente, uma grande inspiração.

Aos meus colegas do PPGEF, em especial do CDSID, pela amizade gratuita, alegria e entusiasmo que tornaram esta fase mais fácil e prazerosa.

Agradeço também ao CNPq e a CAPES pelo suporte financeiro proporcionado para a elaboração desta pesquisa.

Por fim, a todos que estiveram sempre presentes, nos bons e maus momentos.

RESUMO

A necessidade de se adaptar às demandas atuais do mundo corporativo revela a busca incessante das organizações em promover mudanças coordenadas em seu planejamento estratégico. Desse modo, a gestão de portfólio tem por objetivo gerenciar projetos de uma organização, garantindo que certo subconjunto seja selecionado, alocando para ele os recursos necessários e disponíveis. No ambiente do setor elétrico, o problema da alocação de recursos se revela de forma ampliada, pois se têm vários projetos disputando recursos limitados, tornando mais complexo o processo de busca pela distribuição ótima. Uma vez que essas empresas buscam garantir a minimização do custo operacional e a garantia de atendimento ao mercado, suas políticas de gestão são direcionadas a atender objetivos distintos e muitas vezes conflitantes entre si. Nesse contexto, este trabalho visa a construção de um modelo de decisão multicritério que possibilita avaliar, na problemática de portfólio, qual a melhor combinação de projetos a serem implementados nas organizações com a utilização de critérios de caráter subjetivos por parte do tomador de decisão e restrições de ordem financeira, humana e operacional que o problema apresenta. Ele é baseado no método PROMETHEE V com a inserção do conceito de portfólio c-ótimo para correção de problemas de escala que são verificados na versão original. A validação do modelo se dá pela aplicação numérica de dois estudos de caso presentes na literatura e cujos resultados são analisados adequadamente e apontam contribuições reais do modelo para gerenciamento de projetos no tocante ao setor de eletricidade e energia.

Palavras-chave: Alocação de recursos. Portfólio de projetos. PROMETHEE c-ótimo. Setor elétrico.

ABSTRACT

The current demands of the business market reveal the relentless pursuit of organizations by coordinated changes in their strategic planning. This way, portfolio management aims to manage projects to ensure the best selection of a subset, and then allocate necessary and available resources. In the electric sector environment, the problem of resource allocation is frequently faced by enterprises since there are several projects disputing limited resources and it's so complex to search for the optimal distribution. Since these companies seek to minimize the operational cost and guarantee their services on market, their management policies meet different and often conflicting objectives. So this work aims to construct a decision model that allows a multidimensional evaluation in portfolio problematic in order to choose the best mix of projects to be implemented in organizations. Then, subjective criteria as well as financial, human and operational constraints might be considered by the problem. The model is based on the PROMETHEE V method with c-optimal portfolio concept to correct the scale problems verified in the original version. The model is validated through a numerical application of two study cases present in the literature and their results are properly analyzed and show real its contributions to project management in the electricity and energy sector.

Keywords: Resource allocation. Project portfolio. PROMETHEE c-optimal. Electric sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Framework para resolução de um problema de decisão multicritério.....	16
Figura 2 –	Esquema da síntese do estado da arte e posicionamento deste trabalho.....	27
Figura 3 –	Fluxograma da metodologia a ser aplicada ao problema central do trabalho.	30
Figura 4 –	Esquema da arquitetura elaborada para o Sistema de Apoio a Decisão.....	35
Figura 5 –	(a) Planilha padrão para input dos dados no SAD. (b) Tela de resumo dos dados de entrada do problema.....	36
Figura 6 –	(a) Tela de relatório preliminar do PROMETHEE (b) Tela com as soluções c-ótimas encontradas (c) Tela para calibração da análise de sensibilidade.....	37
Figura 7 –	(a) e (b) Telas com análise gráfica de desempenho dos portfólios ótimos (c) Telas de análise gráfica da análise de sensibilidade dos resultados.....	39
Figura 8 –	Gráficos comparativos de desempenho local (a) e global (b) das soluções ótimas da 1ª aplicação.....	49
Figura 9 –	Gráfico de bolhas relativos aos índices de concordância entre pares de soluções ótimas da 1ª aplicação.....	51
Figura 10 –	Gráfico-resumo da análise de sensibilidade da 1ª aplicação.....	52
Figura 11 –	Gráficos comparativos de desempenho local (a) e global (b) das soluções ótimas da 2ª aplicação.....	63
Figura 12 –	Gráfico de bolhas relativos aos índices de concordância entre pares de soluções ótimas da 2ª aplicação.....	65
Figura 13 –	Gráfico-resumo da análise de sensibilidade da 2ª aplicação.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resultados de busca nas bases indexadas.....	22
Tabela 2 –	1ª aplicação: Relação de alternativas do espaço de ações do problema. Custo de implementação em milhões de dólares americanos (US\$).....	44
Tabela 3 –	1ª aplicação: Matriz de consequências do problema.....	46
Tabela 4 –	1ª aplicação: Relação de critérios e os respectivos pesos do problema.....	47
Tabela 5 –	1ª aplicação: Portfólios c-ótimos como resultados da modelagem multicritério.....	48
Tabela 6 –	Relatório de análise de sensibilidade da 1ª aplicação.....	52
Tabela 7 –	2ª aplicação: Matriz de consequências do problema.....	58
Tabela 8 –	2ª aplicação: Relação de critérios e os respectivos pesos do problema.....	61
Tabela 9 –	2ª aplicação: Portfólios c-ótimos como resultados da modelagem multicritério.....	62
Tabela 10 –	Resumo dos recursos humanos e financeiros alocados a cada portfólio da 2ª aplicação.....	66
Tabela 11 –	Relatório de análise de sensibilidade da 2ª aplicação.....	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1.1	Decisão Multicritério	15
2.1.2	Alocação de recursos baseado da análise multicritério de portfólio	17
2.1.3	<i>Método PROMETHEE V usando o conceito de portfólio c-ótimo.....</i>	18
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ALOCAÇÃO DE RECURSOS COM ABORDAGEM MULTICRITÉRIO NO SETOR ELÉTRICO.....	20
2.2.1	Portfólio de projetos: práticas de seleção e gerenciamento	20
2.2.2	Alocação de Recursos com base na análise multicritério de portfólio de projetos ...	20
2.3	24 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO.....	26
3	MODELO PROPOSTO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS NO SETOR ELÉTRICO	28
3.1	DESCRIÇÃO DO MODELO: ABORDAGEM DE PORTFÓLIO COM BASE NO CONCEITO C-ÓTIMO NO MÉTODO PROMETHEE V	28
3.2	SISTEMA DE APOIO A DECISÃO (SAD) PARA O MODELO.....	33
4	APLICAÇÃO DO MODELO COM ESTRUTURAÇÃO DE PROBLEMAS MULTICRITÉRIO NO CONTEXTO DE UMA ORGANIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	41
4.1	PRIMEIRO ESTUDO DE CASO: adaptado de Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017).....	41
4.1.1	Descrição do problema	41
4.1.2	Resultados da aplicação e análise de desempenho	47
4.1.3	Análise de Sensibilidade	51
4.2	SEGUNDO ESTUDO DE CASO: adaptado de López & De Almeida (2014).....	53
4.2.1	Descrição do problema	53

4.2.2	Resultados da aplicação e análise de desempenho.....	61
4.2.3	Análise de Sensibilidade	66
4.3	DISCUSSÃO DO MODELO E SUA CONTRIBUIÇÃO.....	68
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da espécie humana é possível compreender que o homem necessita interagir com os demais para garantir sua sobrevivência. Nesse sentido, Da Silva et al. (2018) reforçam não só que os indivíduos são interdependentes, como também que é esta característica da vida em comunidade que sustenta o desenvolvimento progressivo da tecnologia, usado para adaptar o meio ambiente de modo a proporcionar conforto ao grupo social em que se vive.

Nesse contexto, diversos momentos históricos evidenciaram que a energia elétrica se tornou um insumo essencial à sociedade, permitindo, por meio de suas contribuições, aperfeiçoar diversos setores produtivos com vistas ao desenvolvimento socioeconômico das nações. Atualmente, o setor elétrico em grande parte do mundo compreende o serviço de maior cobertura territorial.

Em âmbito nacional, por exemplo, a potencialidade de recursos naturais no Brasil favorece a diversificação na geração de energia como insumo: a principal fonte, a hidrelétrica, responde por 60% da capacidade instalada em operação no país, seguida da termelétrica (25%), eólica (9%) e fotovoltaica (2%), seguidas por outras fontes (ANEEL, 2018). Como modelo institucional bastante definido, Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) é dirigido por diversos agentes institucionais e sua regulação – na geração, comercialização e distribuição do insumo – objetiva assegurar o que determina o Marco Regulatório do Setor Elétrico: modicidade tarifária, segurança do suprimento, estabilidade do marco regulatório e inserção social (BRASIL, 2004).

Embora haja uma potencialidade no aproveitamento dos recursos naturais para geração de energia, é importante direcionar constantemente os esforços do setor para melhorar o planejamento da operação desse serviço.

De fato, a necessidade é verificada devido a existência de problemas de caráter tecnológico e político que enfrentam o desenvolvimento das principais fontes de energia convencionais e renováveis do mundo (RICHARD & EUGENE, 2014)

Nesse sentido, o foco dessas organizações está em garantir a minimização do custo operacional e o atendimento ao mercado em meio a recursos limitados e crescente demanda de consumo.

É importante considerar também o crescente alinhamento das ações sustentáveis aos relatórios elaborados pelas empresas de forma a avaliar a gestão de suas práticas de sustentabilidade, em atendimento às demandas ambientais para redução da emissão de gases poluentes e preservação de recursos naturais escassos.

Sendo assim, as diversas ações para manutenção, ampliação e desenvolvimento do setor necessitam da priorização e seleção de projetos com melhor desempenho possível, a fim de se obter uma gestão eficaz dos recursos disponíveis. Estes não são suficientes para promover benefícios de todas as áreas ao implementar uma única ação. Em se tratando de um conjunto de projetos, o problema da alocação de recursos se revela de forma ampliada, pois se têm vários projetos disputando recursos limitados, tornando mais complexo o processo de busca pela distribuição ótima (GONÇALVES, MENDES & RESENDE, 2008).

Diante dos fatores apresentados, não é difícil perceber que o processo de seleção de projetos dificilmente será resumido em um critério. Em função da necessidade de decidir, o estudo e a análise da tomada de decisão acontecem, bem como a consequência direta de ambos: o desenvolvimento de métodos de apoio multicritério à decisão (MCDA/M). Os MCDA/M contribuem para resolver a priorização de projetos, pois auxiliam na estruturação do problema e proporcionam condições para inserção, no processo decisório, de aspectos de naturezas diferentes. Estes métodos são úteis para casos de alocação de recursos, pois usam informações de maneira eficiente, tornando-a mais transparente e simplificando a deliberação entre os decisores.

Em contribuição a estudos já desenvolvidos no ambiente em contexto (KYLILI et al., 2016; LÓPEZ & ALMEIDA, 2014; MARTINS et al., 2017; ZAMBON et al., 2005), este trabalho explora a aplicação e benefícios de um modelo multicritério para apoiar a decisão na seleção de portfólio de projetos no contexto energético. Para tanto, sua incorporação se dá pelo método multicritério de apoio à decisão PROMETHEE V (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), cuja abordagem utiliza a racionalidade não compensatória (BRANS & MARESCHAL, 1992).

1.1 JUSTIFICATIVA

O exercício da capacidade criativa na elaboração de ações organizacionais é importante para que as empresas, independente de suas naturezas, apresentem condições de sobrevivência em meio ao cenário competitivo. Entretanto, é comum que, nas organizações, as boas ideias – que se traduzem em projetos – estejam limitadas aos recursos financeiros disponíveis para

executá-las (KLEINMUNTZ, 2007). Em termos práticos, outras restrições podem ser impostas ao implementar um conjunto de projetos, entre recursos humanos, naturais e de materiais, por exemplo.

É a partir desse contexto que diversos estudos buscam desenvolver ou aprimorar procedimentos para selecionar projetos pertencentes a um portfólio de uma empresa, sob a necessidade de atender às possíveis limitações de recursos que a mesma possui. Como exemplo, Kleinmuntz (2007) apresentou sob a ótica da análise de decisão multidimensional a questão da alocação de recursos por meio de otimização matemática, permitindo análise de risco e em situações de incerteza. No contexto do SEB, trabalhos como o de López & De Almeida (2014) e Martins et al. (2017) fizeram uso de métodos multicritério para seleção de projetos com a presença de diversas restrições.

Nesse contexto, uma vez que grande parte dos modelos utiliza critérios quantitativos para a seleção de portfólio de projetos, o desenvolvimento de novos modelos multicritério é relevante na medida em que permitem uma avaliação mais subjetiva dos projetos e que, concomitantemente, possam considerar as restrições inerentes ao ambiente corporativo no qual o portfólio será empreendido. Uma vez que a atuação de empresas do contexto elétrico e energético apresenta desdobramentos em múltiplas dimensões – de ordem social, econômica e ambiental, o presente trabalho contribuirá com a construção de um modelo que possibilita conjugar tanto as restrições ambientais e as restrições impostas pelas partes interessadas, como a utilização de critérios de caráter subjetivos por parte do tomador de decisão.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este item visa apresentar o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo multicritério para alocação de recursos de um portfólio de projetos no contexto do setor elétrico através do conceito de portfólio c-ótimo no método PROMETHEE V.

1.2.2 Objetivos Específicos

No entanto, para se alcançar tal objetivo, configuram-se como objetivos específicos:

- Analisar os modelos existentes para seleção de portfólio de projetos;
- Observar a presença de inconsistências matemáticas do método PROMETHEE V;

- Aplicar o conceito de portfólio c-ótimo para correção das inconsistências do método original;
- Discutir a proposta de correção através dos resultados obtidos com uma análise de robustez do estudo de caso;
- Desenvolver e aplicar um sistema de apoio a decisão (SAD) para auxiliar a implementação do modelo;
- Aperfeiçoar a aplicação de recursos humanos, materiais e financeiros do sistema elétrico.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos, dispostos da seguinte maneira:

O Capítulo I, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho, bem como os objetivos geral e específicos do estudo.

O Capítulo II, Fundamentação Teórica e Revisão Bibliográfica, aborda não somente a fundamentação da base conceitual sobre decisão multicritério, como também da alocação de recursos e do método PROMETHEE V com o conceito de portfólio c-ótimo. Neste capítulo, o autor também apresenta a revisão bibliográfica a respeito de portfólio de projetos e suas diversas abordagens de seleção e gerenciamento, além da alocação de recursos sob o enfoque da análise multicritério, a fim de expor o estado da arte e o posicionamento deste trabalho.

O capítulo III, Modelo Proposto, é explanado o passo a passo da metodologia utilizada no modelo, cujas suposições matemáticas são admitidas e o algoritmo explanado passo a passo. Ainda neste capítulo, o autor aborda a concepção, arquitetura e requisitos funcionais do SAD criado como ferramenta na condução do processo decisório.

O capítulo IV, Aplicação do Modelo, são estruturados e aplicados dois estudos de caso presentes na literatura de modo a validar o modelo, e cujos resultados e principais evidências são pontuados e discutidos.

O capítulo V, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho, nas quais contribuições, desafios e limitações são discutidas, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentada a base conceitual que norteia este trabalho. O item 2.1 trata da fundamentação teórica a respeito dos temas de decisão multicritério, alocação de recursos com base na análise multicritério de portfólio de projetos e método PROMETHEE V. Em seguida, será apresentado um mapeamento do estado da arte a respeito de portfólio de projetos e suas diversas abordagens de seleção e gerenciamento, além da alocação de recursos sob o enfoque da análise multicritério. Por fim, é situado o posicionamento deste trabalho.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho explana os principais conceitos relacionados aos seguintes tópicos: decisão multicritério, alocação de recursos baseado da análise multicritério de portfólio e método PROMETHEE V usando o conceito de portfólio c-ótimo.

2.1.1 Decisão Multicritério

Os métodos de apoio multicritério a decisão auxiliam a programação das ações sobre o problema descrito através da priorização de atividades e utiliza um método multicritério de apoio a decisão. Apesar da diversidade de métodos existentes, são três as características básicas para identificação de um problema multicritério: um conjunto discreto de alternativas com ao menos dois critérios e a existência de um decisor (DE ALMEIDA, 2013).

Os MCDA/M têm como pressuposto a aceitação da subjetividade nos processos decisórios. López & De Almeida (2014) comentam que os métodos buscam estabelecer relações de preferências (subjetivas) perante várias alternativas avaliadas sob a influência de múltiplos critérios durante o processo decisório.

Em se tratando de uma área de conhecimento recém-explorada – os primeiros estudos datam da década de 1970 –, os métodos de apoio a problemas discretos de decisão multicritério vieram dar suporte ao processo decisório de problemas complexos. Estes métodos não visam à indicação da melhor solução, mas apoiar o processo por meio da recomendação de ações, traduzindo, então, as preferências dos decisores para a implementação de decisões consistentes.

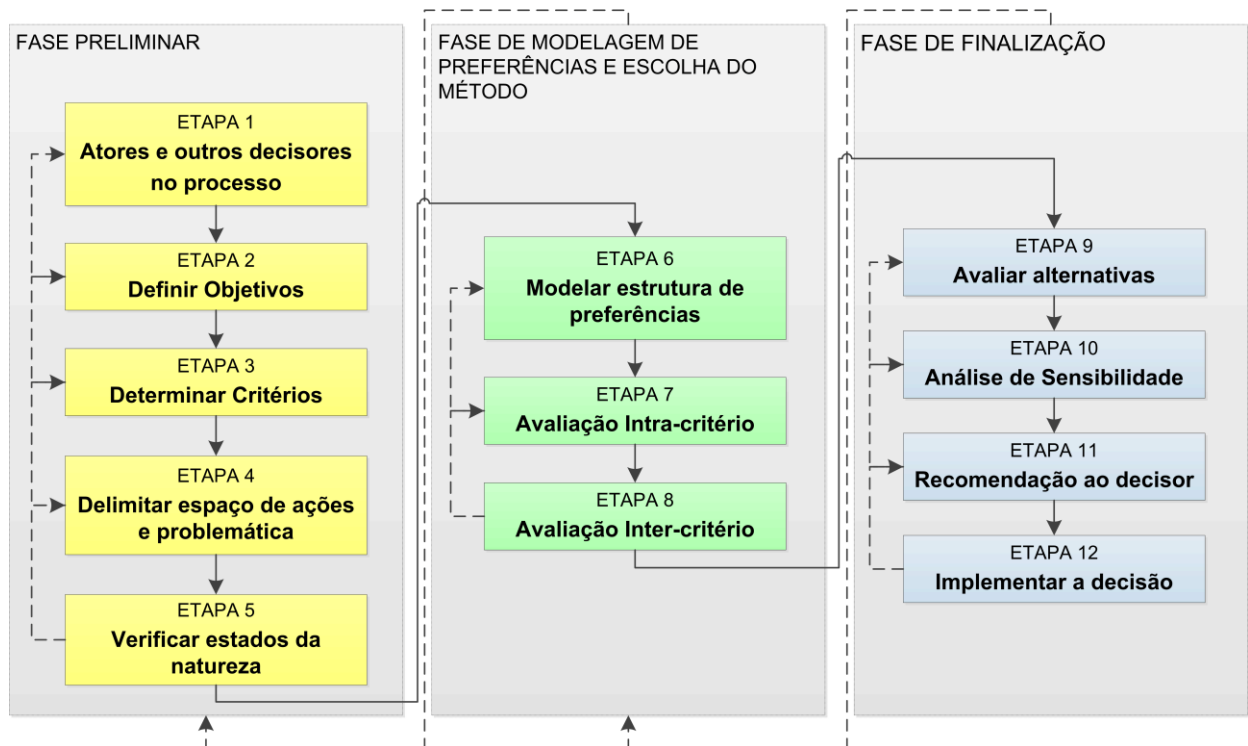
Diversos estudos ao longo das décadas permitiram grandes avanços em problemas de modelagem, usando métodos de agregação multicritério e com uma diversidade de aplicações.

Koksalan, Wallenius & Zionts (2011) e Miles Jr. (2007), por exemplo, analisaram a evolução, a história e as perspectivas da área MCDA/M ao longo do tempo e enfatizaram esse fato.

Tais avanços levaram pesquisadores a aplicar os referidos métodos em distintas áreas do conhecimento: redes de distribuição de água (FONTANA & MORAIS, 2017), projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (KARASAKAL & AKER, 2017), setor elétrico (CUCCHIELLA; GASTALDI & TROSINI, 2017), construção civil (MINIOTAITE, 2017), setor financeiro (FERREIRA et al., 2018), gerenciamento de risco (MEDEIROS; ALENCAR & DE ALMEIDA, 2017), entre outras aplicações.

No tocante à modelagem desse tipo de problema, é importante observar a existência de vários procedimentos presentes na literatura que auxiliam aos decisores na construção de um problema multidimensional. Nesse sentido, a Figura 1 esquematiza um framework o qual De Almeida (2013) propõe a fim de guiar no processo de formulação de um problema de decisão.

Figura 1 - Framework para resolução de um problema de decisão multicritério



Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

O autor divide a modelagem do problema em três fases, a saber:

a) Uma fase preliminar, na qual os decisores, os objetivos, os critérios utilizados para modelar esses objetivos, o espaço das ações e a problemática são definidos. Além disso, fatores não controlados são identificados;

b) A fase de modelagem das preferências é desenvolvida escolhendo o método MCDA/M, além de modelar as preferências dos decisores; e

c) A fase de finalização, durante a qual é feita a avaliação de alternativas, as recomendações são apresentadas e a decisão é implementada.

Desta forma, a construção de modelos MCDA/M para representar problemas reais pode ser encarada como um processo criativo, uma vez que aspectos intelectuais e culturais dos decisores são importantes para entender a complexidade do processo.

No entanto, um analista ajuda aos tomadores de decisão em todas as fases mencionadas anteriormente, dando informações factuais sobre o problema. Através do processo de refinamentos sucessivos, voltar a etapas anteriores permite aumentar a percepção do decisor sobre objetivos, critérios e espaço de ações, o que realmente enriquece o modelo para a avaliação e implementação da decisão (DE ALMEIDA et al., 2015).

Outro aspecto importante a ser considerado ainda na fase preliminar é a racionalidade do decisor, que pode ser compensatória ou não compensatória. Para proposição do modelo, faz-se uso da racionalidade não compensatória, a qual é caracterizada, de acordo com Fishburn (1976), como uma relação de preferência entre duas alternativas que não depende da sua performance em cada critério assumido para o problema de decisão. A dependência existe apenas ao subconjunto de critérios que as favorecem.

Vetschera & de Almeida (2012) destacam ainda que em diversas situações práticas o uso de uma abordagem não compensatória seria mais adequado. Para problemas de seleção de portfólio com a racionalidade não compensatória pode se fazer uso do método PROMETHEE V, utilizado como base de estudo do presente trabalho.

2.1.2 Alocação de recursos baseado da análise multicritério de portfólio

Um portfólio pode ser definido como um conjunto discreto de projetos, ações, programas e/ou outras atividades que são reunidas de modo a ser gerenciada de forma eficaz com vistas a alcançar os objetivos esperados pelas organizações (PMI, 2017a).

No ambiente de decisão, uma vez que os decisores procuram priorizar seus objetivos estratégicos para sucesso das organizações, um portfólio precisa de recursos, mas, em geral, os montantes necessários excedem os limites disponíveis Larson & Gray (2018). Isto está associado, ou até limitado, a fatores como capacidade financeira da organização e a alocação de recursos (KERZNER, 2001).

Heising (2012) afirma que o sucesso sustentável da organização será obtido à medida que as oportunidades do portfólio (sendo devidamente reconhecidas e implementadas pela organização) são alcançadas. Sendo assim, dado que os recursos exigidos de um portfólio naturalmente se deparam com excedentes dos limites disponíveis, é necessário que se estabeleça uma sequência lógica para a escolha do portfólio analisado. Logo, é importante que os projetos passem por um processo de priorização que considere sua importância e contribuição para a estratégia organizacional.

2.1.3 Método PROMETHEE V usando o conceito de portfólio c-ótimo

O método utilizado nesta análise realiza relações de sobreclassificação entre as alternativas de acordo com os critérios para agregar informações entre esses parâmetros. O decisor, então, estabelece um grau de importância de cada critério em relação aos demais por meio da atribuição de pesos.

Brans & Mareschal (1992) descrevem o método PROMETHEE V clássico, voltado para a seleção de portfólios de projetos, em duas etapas:

- 1ª etapa: Avaliação dos projetos através do método PROMETHEE II – a partir de comparações par-a-par, são gerados fluxos $\varphi_{(a_i)}^+$ de saída (ou positivos) e $\varphi_{(a_i)}^-$ de entrada (ou negativos) da alternativa a_i . O fluxo líquido, portanto, corresponde à diferença entre eles, como revela a equação 1:

$$\varphi_{(a_i)} = \varphi_{(a_i)}^+ - \varphi_{(a_i)}^- \quad (1)$$

- 2ª etapa: Busca-se maximizar a soma dos fluxos líquidos da etapa anterior numa resolução de um problema de programação linear (PPL) inteira – problema da mochila –, com restrições de recursos da organização.

$$\max \sum_{i=1}^n \varphi'_{(a_i)} x_i \quad (2)$$

Onde $\varphi'_{(a_i)}$ representa o fluxo líquido adaptado da alternativa a_i .

Desse modo, restrições de distintas naturezas podem ser impostas ao modelo e estas são caracterizadas, de forma genérica, a seguir:

$$\sum_{i=1}^n r_i x_i \leq B \quad (3)$$

Na equação 3, B corresponde ao limite ou restrição do total de recursos do portfólio recomendado, enquanto r_i são os recursos exigidos pelo projeto – a ser incluído ou não no portfólio.

A aplicação do método multicritério abordado nesta seção foi estudada por Mavrotas, Diakoulaki & Caloghirou (2006), que perceberam um aspecto importante a ser observado quanto aos fluxos líquidos das alternativas: os valores podem ser positivos ou negativos, a depender da intensidade dos fluxos de saída e de entrada obtidos da etapa 1 já descrita.

Desse modo, o procedimento de otimização inteira interpreta que uma alternativa com fluxos líquidos negativos traria prejuízos para a decisão na função objetivo. Logo, é perceptível que os sinais de todos os fluxos líquidos deveriam ser não negativos durante a etapa do problema da mochila, a fim de todos os projetos pertencentes ao portfólio apresentarem condições viáveis de serem selecionados.

Sendo assim, a necessidade de todos os fluxos líquidos serem não negativos durante a etapa do problema da mochila levou os autores a propor a seguinte escala de transformação segundo a equação 4, no qual o termo $\min_i (\varphi_{(a)})$ indica o menor valor do fluxo líquido obtido levando em conta todas as alternativas.

$$\varphi'_{(a_i)} = \varphi_{(a_i)} + \left| \min_i (\varphi_{(a)}) \right| \quad (4)$$

Após a transformação de escala sugerida anteriormente, verificou-se que o menor fluxo líquido teria valor nulo. Em termos práticos, na resolução da PPL, isso implicaria em sua não entrada no portfólio – este nada acrescentaria à decisão no processo de otimização. Assim, os autores propuseram outra transformação de escala, considerando um acréscimo δ , possuindo este um valor pequeno.

$$\varphi'_{(a_i)} = \varphi_{(a_i)} + \left| \min_i (\varphi_{(a_i)}) \right| + \delta \quad (5)$$

Entretanto, De Almeida & Vetschera (2012) questionaram a relação entre a transformação linear e os resultados oriundos das etapas que compõem o método. De fato, os autores observaram que, embora uma transformação linear na escala não influencie no resultado do PROMETHEE II, esta pode levar à seleção de diferentes portfólios ao fim do PROMETHEE V. Isso ocorre devido ao impacto gerado pela referida transformação nos valores dos portfólios, que dependem essencialmente do número de alternativas selecionadas. Em outras palavras, a transformação linear na escala ainda pode proporcionar distorções no resultado final em virtude do valor de $\left| \min_i (\varphi_{(a_i)}) \right| + \delta$.

Nesse sentido, a fim de evitar tal inconveniente, Vetschera & De Almeida (2012) propuseram um conceito de portfólio ideal: o portfólio c-ótimo. Em suma, trata-se da inserção de uma nova restrição a PPL indicada na equação 2, de modo que seja definido um portfólio com exatos c elementos selecionados.

Os autores utilizam como base o resultado do PROMETHEE V clássico, denotado aqui como portfólio p-ótimo, composta por p projetos. Uma vez que a distorção está centrada no número de alternativas selecionadas, a nova restrição será adicionada ao método clássico para selecionar um portfólio c-ótimo com c projetos, sendo este valor gradualmente crescente ($c = p + 1, c = p + 2, c = p + 3, \dots$) enquanto houver solução.

Desta maneira, independente do valor de δ , assegura-se que o melhor portfólio entre o conjunto (obtido através de comparação entre p-ótimo e c-ótimos) seja o mesmo e, no mínimo, seja igual à solução dada pelo método PROMETHEE V clássico. Com isso, acredita-se que o conceito de portfólio c-ótimo associado ao método em questão proporciona melhorias concretas na seleção de portfólio, não fazendo sentido, portanto, sua dissociação.

Detalhes do método com inserção de portfólio c-ótimo na sua concepção serão apresentados oportunamente na seção 3.1.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ALOCAÇÃO DE RECURSOS COM ABORDAGEM MULTICRITÉRIO NO SETOR ELÉTRICO

Nesta seção, será apresentada uma revisão da literatura sobre as práticas de seleção e gerenciamento de portfólio de projetos, como também no tocante ao uso da metodologia multicritério para alocação de recursos, especialmente no contexto do setor elétrico. Com isso, pretende-se fazer um mapeamento do estado da arte sobre estudos centrais que orientam o posicionamento do presente trabalho.

2.2.1 Portfólio de projetos: práticas de seleção e gerenciamento

O desenvolvimento de novas práticas de gestão de portfólio como auxílio no processo de decisão – bem como a análise e aprimoramento das existentes – é reflexo da crescente preocupação do ambiente organizacional com os desafios impostos pela competitividade. Salo, Keisler & Morton (2011) reforçam essa necessidade ao apontar que as organizações geralmente têm objetivos complexos e mal articulados e não possuem uma metodologia consistente para determinar o quanto os investimentos alternativos se comparam a esses objetivos.

Nesse sentido, é importante entender que o gerenciamento de portfólio trata do problema da alocação dos recursos de forma integrada ao priorizar a avaliação de projetos, ações, programas e/ou atividades alinhando-os à estratégia da organização (PMI, 2017b).

Sob essa perspectiva, a literatura apresenta trabalhos que abordam a referida temática, a exemplo de Archer & Ghasemzadeh (1999). Os autores desenvolveram um estudo no qual analisaram as distintas abordagens de gestão de portfólio praticadas naquela época, verificando, assim, os métodos mais bem sucedidos, em termos práticos e gerenciais, eram aqueles caracterizados por:

- i. Periodicidade na seleção das propostas de projetos disponíveis; e
- ii. Reavaliação dos projetos existentes em fase de execução.

Tais aspectos entram em consonância com os objetivos estratégicos de uma empresa sem exceder recursos disponíveis – atendendo, portanto, aos requisitos mínimos da organização. Dada essa constatação, os autores buscaram simplificar o processo de gerenciamento propondo, assim, uma abordagem alternativa para seleção de portfólios. Ela é dividida em cinco grandes estágios, a saber: (1) Pré-seleção; (2) Análise individual dos projetos; (3) Seleção; (4) Seleção do portfólio ótimo; e (5) Ajuste do portfólio.

O sequenciamento nas cinco etapas possibilita avaliar profundamente os atributos de cada projeto, eliminando aqueles que não alcançam os critérios mínimos preestabelecidos, assim como permite selecionar o portfólio ótimo.

Uma abordagem diferente é proposta por De Oliveira Lacerda, Ensslin & Ensslin (2011) ao utilizar ferramentas complementares nesta área interdisciplinar. Os autores oferecem uma compreensão empírica da aplicação da medição de desempenho de portfólios com a aplicação da metodologia multicritério de auxílio à decisão de caráter construtivista. Sendo assim, o trabalho permitiu que o aspecto multidimensional fosse levado em consideração, com o estabelecimento de critérios construídos de acordo com valores e preferências dos tomadores de decisão. A partir de uma aplicação de estudo de caso qualitativo e quantitativo, os resultados obtidos reforçam que a estrutura de gerenciamento proposta suporta a medição ordinal e cardinal do desempenho do projeto, fato este que permite comparar e classificar propostas, além de sugerir um processo de melhorias das mesmas.

É importante avaliar, portanto, o esforço constatado no meio acadêmico a fim de aprimorar a tarefa de gerenciar portfólios de projetos. Entretanto, é consenso que a questão

estratégica se consolidou como um importante fator a ser considerado para selecionar e implementar de forma eficaz uma carteira de projetos.

Nesse sentido, o alinhamento estrutural de uma organização com as necessidades se torna imprescindível (KAISER; EL ARBI & AHLEMANN, 2015). Os autores contribuíram com a proposição de uma teoria substantiva que integra a implementação da estratégia, o processamento de informações organizacionais e a adaptação estrutural, introduzindo assim uma nova perspectiva sobre a gestão de portfólio além de meras técnicas de seleção de projetos.

No contexto de desenvolvimento de novos produtos, merece destaque as contribuições dadas por Meifort (2016) no tocante ao gerenciamento de portfólio de inovação para alocação de recursos. O autor afirma que o processo de tomada de decisão é complexo e caracterizado por alta incerteza, uma vez que há constante mudança de informações sobre oportunidades internas e externas à empresa e com projetos inter-relacionados no espaço e no tempo.

Em face dessa realidade, o artigo propõe uma agenda de pesquisa detalhada que integre quatro perspectivas do processo: de otimização, estratégica, de tomada de decisão e organizacional. Como resultado, ocorre um enfrentamento direto dos desafios gerenciais, indicando, diante da diversidade de ferramentas de gestão, quais informações e fatores são realmente importantes para a tomada de decisão.

Clegg et al. (2018) também demonstram a vigente preocupação, na literatura, em formular uma agenda programática de pesquisa que seja orientada para a realidade da atuação estratégica através do portfólio de projetos. Nesse sentido vários aspectos da prática – como discursividade, representação, liderança e materialidade – são analisados a fim de que tais descobertas possam indicar como os portfólios são realmente gerenciados e sugerir como os tomadores de decisão devem levar a melhorias no gerenciamento.

Especificamente no tocante ao processo de tomada de decisão, diversos trabalhos podem ser encontrados na literatura que desenvolveram métodos para esta etapa de gerenciamento de portfólios. A seguir, por meio de 5 aplicações práticas, serão apresentados algumas abordagens voltadas para a fase de seleção de portfólio.

Da Silva et al. (2017) propõem uma abordagem interativa composto de duas etapas através da formulação de um problema de otimização de critério único. O processo de seleção de portfólio consiste na associação de gráficos coordenados que visam alimentar o software de otimização com dados refinados, a fim de que os resultados obtidos correspondam melhor às suas expectativas. Os autores asseguram a interatividade que almejam através da presença

de gráficos cujo aspecto temporal pode ser integrado ao cronograma dos projetos, bem como à combinação de informações como custo e risco, fundamentais para ajudá-los a analisar, por exemplo, o impacto das preferências do decisor nos custos anuais e, conseqüentemente, na viabilidade da carteira, além da constatação de eventuais imprevisibilidades sobre a alocação de recursos humanos.

Já Jafarzadeh et al. (2015) aborda a questão da seleção ótima de portfólio de projetos usando a estratégia de reinvestimento aplicado ao ambiente financeiro. Entretanto, ao contrário das abordagens tradicionais a cerca do tema, os autores apresentam uma nova estratégia, a saber, horizonte temporal flexível, que cria uma nova perspectiva sobre a seleção da carteira ótima. Como ferramenta metodológica para processamento dos dados, faz-se uso de programação inteira que aborda especificamente três características comuns ao mundo financeiro: a combinação ótima de projetos, o cronograma ideal dos projetos selecionados e, finalmente, o horizonte de tempo ideal.

Ferramentas de seleção também buscam aprimorar as técnicas vigentes de investimento, como aborda o trabalho de Pendaraki & Spanoudakis (2015). Os autores analisam a aplicação de uma metodologia baseada em argumentação para compor portfólios de fundos de investimento, chamada *PORTRAIT*. Segundo eles, a argumentação permite combinar diferentes contextos e preferências de uma maneira que pode ser otimizada. Isto permite comparar o desempenho e o risco dos portfólios construídos com os baseados em um índice de desempenho tradicional sob diferentes cenários possivelmente conflitantes. Aplicada aos dados dos fundos mútuos do patrimônio doméstico grego, o artigo evidenciou que o método se mostra adequado para este tipo de aplicação, respondendo a dois questionamentos: quais os fundos mútuos são os mais adequados para investir e que parte do capital disponível deve ser investida em cada um desses fundos.

Conhecimentos na área de Análise de Envoltória de Dados (DEA) também foram alternativas encontradas por pesquisadores para seleção de portfólio (ESSID; GANOUDI & VIGEANT, 2018). Os autores propuseram, então, uma estrutura alternativa no qual cada ativo financeiro é visto como um jogador competindo por fundos de investimento, aumentando sua classificação em comparação com seus oponentes. Assim, um conjunto de pontuações únicas de DEA em equilíbrio de Nash para as ações é fornecido e resultados obtidos comprovaram que a carteira resultante é bem diversificada e produz retornos ajustados ao risco mais elevados do que outras carteiras de referência.

Costantino, Di Gravio & Nonino (2015) apresentam uma metodologia inovadora para auxiliar os gerentes na avaliação de projetos durante a fase de seleção a partir dos fatores críticos de sucesso do projeto (CSFs). De acordo com os autores, estes podem servir como critérios fundamentais para evitar possíveis causas de falhas com um processo de seleção de projetos eficazes, levando em conta os objetivos estratégicos da empresa, a experiência do gerente de projeto e o ambiente competitivo. Em face dessa realidade, o trabalho desenvolve e testa um sistema de apoio à decisão para prever o desempenho do projeto com base em uma rede neural artificial (RNA) que classifica o nível de risco do projeto, extraindo a experiência dos gerentes de projeto de um conjunto de projetos bem-sucedidos e mal-sucedidos do passado.

Apesar da diversidade de metodologias aplicadas à seleção de portfólio de projetos com o objetivo de alocar recursos, é importante avaliar, no âmbito da decisão multicritério, que Vetschera & De Almeida (2012) evidenciam a frequência cada vez maior de estudos em problemas de portfólio, o que torna a aplicação dos MCDA/M um suporte adequado a esse tipo de problemática.

É importante ressaltar também que está sendo frequentemente abordada na literatura a utilização de métodos MCDA/M na seleção de portfólios de projetos (DA SILVA et al., 2017; MARTINS et al., 2017; MORAES & LAURINDO, 2003; VETSCHERA & DE ALMEIDA, 2012) e cujo detalhamento será exposto no item 2.2.2.

2.2.2 Alocação de Recursos com base na análise multicritério de portfólio de projetos

A presença de várias restrições dos problemas de alocação de recursos deve ser considerada a fim de encontrar um conjunto de alternativas que não só as satisfaçam como também maximizem uma medida de desempenho global, como abordado pelo estudo de Mavrotas, Diakoulaki & Caloghirou (2006). De acordo com os autores, além da restrição orçamentária, a situação de decisão específica impõe a consideração de restrições políticas adicionais que impedem a exploração direta de classificações fornecidas por um método de critérios múltiplos. Aplicado ao problema de seleção de empresas que solicitam apoio financeiro de fundos públicos, o artigo baseia-se no método PROMETHEE V, que pertence à conhecida família PROMETHEE de métodos de superação de múltiplos critérios e é combinado com uma formulação de programação inteira capaz de lidar efetivamente com o caráter combinatório do problema.

No contexto elétrico, consultas às principais bases indexadas constataam a escassez de estudos multicritério com abordagem de portfólio aplicado ao setor. Em pesquisa bibliográfica realizada nas bases ISI (*Web of Science*) e *Scopus* com palavras-chave combinadas e relativas ao problema central do trabalho, pode se chegar a essa constatação, conforme evidenciado na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de busca nas bases indexadas

Base	Palavras-chave combinadas	<i>Energy Company</i>	<i>Electricity Sector</i>	<i>Electricity Company</i>
ISI - <i>Web of Science</i> -	<i>Resource Allocation</i>	37	7	19
	<i>Project Selection</i>	11	1	1
	<i>Portfolio Selection</i>	7	0	8
	<i>Multicriteria Analysis</i>	6	3	3
Scopus	<i>Resource Allocation</i>	18	19	4
	<i>Project Selection</i>	1	2	1
	<i>Portfolio Selection</i>	1	1	1
	<i>Multicriteria Analysis</i>	3	6	1

Fonte: O Autor (2019)

Apesar dessa limitação, são apresentados a seguir alguns dos trabalhos que tratam dessa temática.

Smith-Perera et al. (2010) introduzem um método rigoroso com complexidade aceitável que procura auxiliar os gerentes de uma grande empresa elétrica da Venezuela para distribuir o orçamento anual entre as possíveis ações de melhoria a serem realizadas na rede elétrica de Caracas. A abordagem combina o uso do método *Analytic Network Process* (ANP) com as informações obtidas dos especialistas durante o processo de tomada de decisão. O método da ANP permitiu modelar o problema de decisão usando as relações entre os critérios dependentes. Segundo os autores, os resultados obtidos com o estudo de caso comprovaram a utilidade do método e uma melhoria das técnicas tradicionais de distribuição do orçamento.

Martins et al. (2017) trataram do problema seleção de portfólio de projetos para uma companhia de eletricidade no Brasil com aplicação do método aditivo, com foco em melhorar o desempenho estratégico de negócios. Os autores analisaram os impactos do efeito do tamanho da carteira devido a problemas de escala no resultado obtido em um sistema de suporte à decisão (DSS) baseado na web, no qual são considerados os problemas de dimensionamento, incorporando resultados de trabalhos anteriores. As adaptações de escala sugeridas pelo trabalho resultaram numa devida transformação de pesos, fato este que pode

melhorar a contribuição para as estratégias permanentes da empresa de aumentar a produtividade, considerando suas limitações para alcançar os melhores resultados.

López & De Almeida (2014) faz uso de um contexto semelhante ao abordar a racionalidade não-compensatória do método de agregação PROMETHEE V, o qual permitiu a incorporação das restrições existentes ao modelo por meio da utilização de programação linear inteira. É importante considerar que tal avaliação feita neste trabalho não contemplou a correção dos problemas de escala apontado no item 2.1.1.

García-Melón, Poveda-Bautista & Del Valle M. (2015) utiliza o método ANP (*Analytic Network Process*) a fim de alinhar os projetos com objetivos estratégicos corporativos. O trabalho considera os referidos objetivos como critérios de priorização para obter o Índice de Alinhamento Relativo (RAI) de cada projeto, que indica quão próximo ou distante cada projeto é dos objetivos estratégicos da empresa. O método é aplicado na Corporação Nacional de Eletricidade da Venezuela, em sua designação anual de recursos do seu portfólio de projetos. Os resultados obtidos deram suporte a várias partes interessadas para que os gerentes alocassem estrategicamente recursos para cada projeto de maneira consensual.

Aragones-Beltran et al. (2014) integram os métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e o ANP (*Analytic Network Process*) para ajudar uma importante empresa espanhola de investimentos em energia solar a decidir investir em um projeto particular de usina termelétrica solar e a posterior ordem de prioridade dos projetos no portfólio da empresa. Sendo assim, os procedimentos utilizados reforçam a percepção sobre o problema, assim como ajudam a determinar os critérios que influenciaram os projetos, analisar as influências entre os critérios e a definir prioridades.

2.3 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

Através da revisão de literatura pode-se perceber que existem variados estudos no que diz respeito aos métodos de gerenciamento de portfólio de projetos, como instrumento para alocar recursos adequadamente. Alguns trabalhos referem-se ainda à necessidade de alinhar estrategicamente os objetivos da organização com o problema de decisão ao qual ela enfrenta.

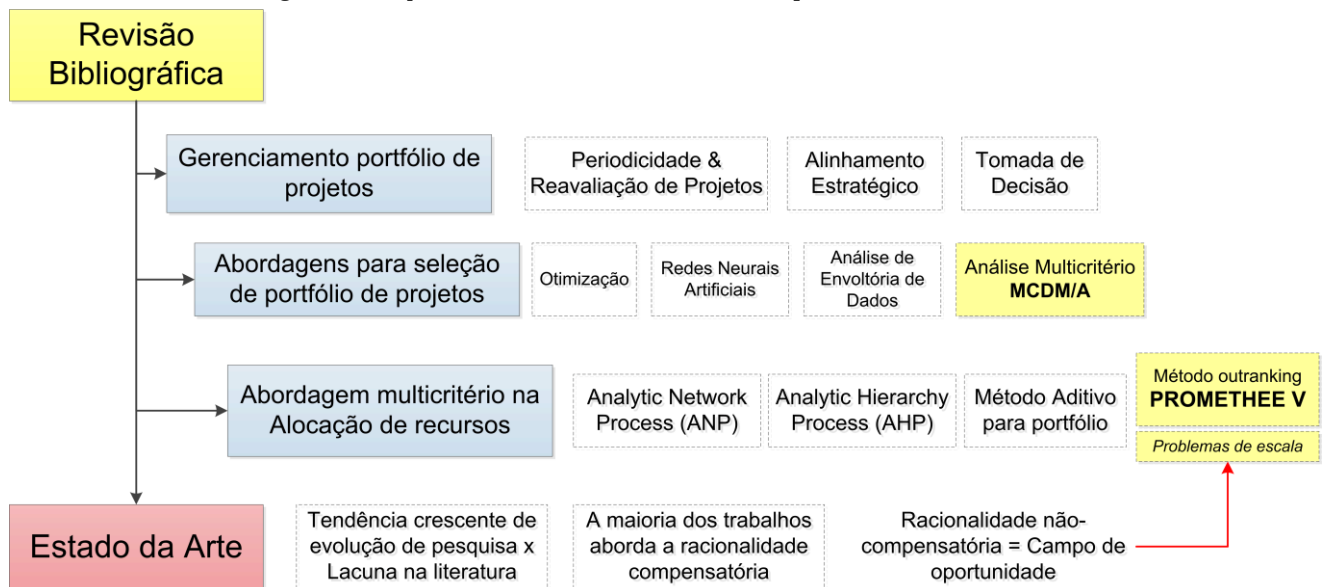
No que diz respeito à seleção de portfólio de projetos, o que caracteriza o problema de alocação de recursos, foram encontrados estudos que fazem esta análise em diversos setores, com distintas abordagens. Em sua maioria, estes são considerados problemas de otimização associado a programação inteira ou multiobjetivo, dado o caráter multidimensional do problema. Há de se observar também a tendência crescente de evolução de pesquisa na área

de apoio multicritério a decisão, como forma de agregar preferências dos decisores e relacioná-las a procedimentos matemáticos capazes de atender a problemática de portfólio.

Entretanto, no tocante ao setor elétrico, uma consulta detalhada as bases indexadas confirmaram a escassez de estudos desta finalidade (vide tabela 2.1), e em sua maioria os estudos e consolidaram sob a ótica de métodos multicritério cuja racionalidade é compensatória. Desse modo, existe certa lacuna da literatura em aplicar métodos que exigem uma racionalidade não compensatória ao contexto organizacional do setor elétrico.

A figura 2 sintetiza as principais informações obtidas nesta revisão de literatura, apontando o campo de oportunidade de pesquisa alcançado por este trabalho.

Figura 2 – Esquema da síntese do estado da arte e posicionamento deste trabalho.



Fonte: O Autor

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo, estruturar um modelo de apoio à decisão para apoiar o problema de alocação de recursos adequada à racionalidade não compensatória do método PROMETHEE V em situações de decisão típicas do contexto energético.

3 MODELO PROPOSTO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS NO SETOR ELÉTRICO

Neste capítulo, é exposta a metodologia da pesquisa através da construção de um modelo multicritério de apoio a decisão, com base na abordagem clássica da pesquisa operacional. Desse modo, o modelo proposto buscou ressaltar a sua utilidade, com especial atenção a certos desafios como a modelagem de preferências do decisor e o equilíbrio entre a simplicidade e precisão do mesmo, desafios estes apontados por De Almeida et al. (2015).

A seção 3.1 apresenta a descrição do modelo com a inserção do conceito c-ótimo no método PROMETHEE V. Os procedimentos matemáticos são discutidos etapa por etapa a fim de que sejam esclarecidas quais as suposições que devem admitidas. Já o item 3.2 aborda a concepção, arquitetura e requisitos funcionais do Sistema de Apoio a Decisão elaborado para resolução de um problema.

3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO: ABORDAGEM DE PORTFÓLIO COM BASE NO CONCEITO C-ÓTIMO NO MÉTODO PROMETHEE V

A diversidade de métodos de apoio a decisão multicritério permite basear o foco da análise de seus resultados sob diferentes problemáticas, como as de escolha, *ranking*, classificação ou seleção de ações (DE ALMEIDA et al., 2015).

Uma vez que a subjetividade é considerada uma característica importante no processo decisório, este modelo proposto faz uso de algoritmos e metodologias a fim de explicitar suas preferências de forma confortável, isto é, evitando situações em que haja enfrentamento das dificuldades do decisor e, por conseguinte, incorporação de distorções na consistência do modelo em relação à realidade que ele representa (DE ALMEIDA, 2013).

Como o problema de alocação de recursos se dá no ambiente na seleção de portfólio de projetos, a problemática de portfólio é abordada nesse modelo.

Salo, Keisler & Morton (2011) mostram uma visão geral sobre métodos de seleção de portfólio de projetos, cujo trabalho de Vetschera & De Almeida (2012) destaca o tratamento frequente com racionalidade compensatória, como procedimentos de agregação aditiva, mas que, em diversas situações práticas, o uso de uma abordagem não compensatória seria mais adequado.

Sob essa perspectiva, para problemas de seleção de portfólio com a racionalidade não compensatória pode se fazer uso do método PROMETHEE V. A escolha deste método como base para proposição do modelo foi feita devido à relevância de alguns fatores importantes, a considerar:

a) É um processo simples e facilmente compreendido pelos envolvidos.

O sequenciamento das etapas, bem como o conjunto de ferramentas matemáticas e demais procedimentos utilizados tornam o método de fácil entendimento por parte do decisor, assim como a construção do modelo pelo analista de decisão.

Brans, Vincke & Mareschal (1986) já confirmavam em seus estudos que o método PROMETHEE é bastante simples na sua concepção e aplicação quando comparado aos demais métodos de sobreclassificação.

b) Os pesos dos critérios são associados ao grau de importância atribuída pelo decisor.

Nesse caso, isso ocorre devido ao uso da racionalidade não compensatória, a qual é assim caracterizada, de acordo com Fishburn (1976): quando a relação de preferência entre duas alternativas depende apenas do subconjunto de critérios que as favorecem, independente da sua performance em cada critério assumido para o problema de decisão.

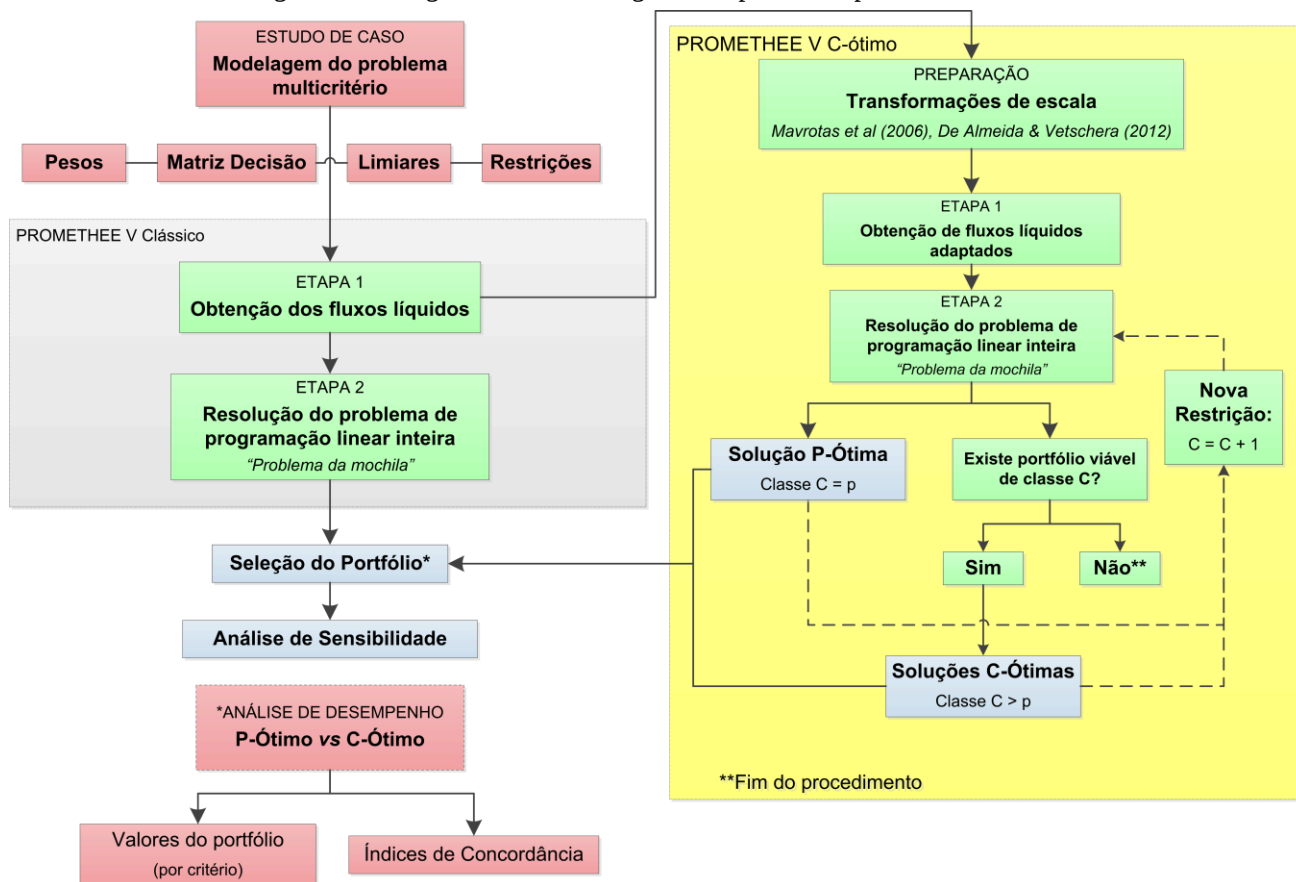
Logo, a utilização deste método não requer procedimentos de *trade-off* para a quantificar os mesmos. Isso torna o entendimento cognitivo do processo de atribuição de peso mais simples para os atores do processo decisório.

c) Sua abordagem é voltada para a problemática de portfólio.

Possibilidade de utilizar programação linear inteira binária para escolher um subconjunto de alternativas possíveis, atendendo as restrições de recursos de diferentes naturezas que as alternativas apresentam (MAVROTAS, DIAKOULAKI & CALOGHIROU, 2006).

Nesse contexto, o fluxograma representado na Figura 3 compreende as etapas sugeridas com a proposição do modelo, o qual se insere o conceito de portfólio c-ótimo no método PROMETHEE V para a seleção de portfólios de projetos.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia a ser aplicada ao problema central do trabalho



Fonte: O Autor

O modelo esquematizado na figura anterior, como justificado anteriormente, inicia a resolução do problema multidimensional, sob a ótica da problemática de portfólio, com base na abordagem clássica na qual o PROMETHEE V foi originado. Conforme fundamentado na seção 2.1.3, informações de parâmetros como critérios, alternativas – e respectivos desempenhos por critério –, pesos, limiares e restrições são agregadas por meio da exploração de relações de sobreclassificação entre os elementos pertencentes ao espaço de ações considerado. É importante destacar também a possibilidade de usar seis tipos diferentes de critérios para definir como o decisor pode representar suas preferências.

Dessa maneira, a partir das comparações par-a-par, fluxos de entrada e saída relativos a cada alternativa são gerados na 1ª etapa do PROMETHEE V, enquanto que os fluxos líquidos representados na (1) são obtidos como parâmetros para ordenação dos desempenhos no PROMETHEE II.

Dados os problemas observados por Mavrotas, Diakoulaki & Caloghirou (2006) em relação à otimização dos fluxos líquidos resultantes da 1ª etapa do PROMETHEE V, o modelo adota as transformações de escala sugeridas pelos autores, conforme explicitado nas equações 4 e 5. Com as devidas alterações, todas as alternativas podem contribuir para o aumento da função objetivo e, por conseguinte, todas as alternativas pertencentes ao espaço de ações podem ser incluídas no portfólio do modelo.

Entretanto, é necessário considerar as contribuições dadas por De Almeida & Vetschera (2012), cujo estudo constatou que o esforço atribuído às transformações anteriores em tornar todos os fluxos líquidos positivos não é o suficiente para superar as distorções. Segundo os autores, a mudança da escala na equação 5 pode levar a recomendação de portfólios diferentes, a depender do valor do termo $\left| \min_i \left(\varphi_{(a_i)} \right) \right| + \delta$.

Embora as transformações lineares não mudem a avaliação dada pela ordenação do PROMETHEE II, a recomendação fornecida pelo PROMETHEE V pode sofrer variações em razão do valor do portfólio, pois este depende do número de alternativas selecionadas. Em suma, a atribuição de δ pode fazer com que o modelo supervalorize os portfólios com mais alternativas, uma vez que é somada ao seu valor uma constante positiva multiplicada pelo número de alternativas.

Em face desta realidade, introduz-se o conceito de c-ótimo para o modelo em análise (VETSCHERA & DE ALMEIDA, 2012). Ele consiste, portanto, consiste em resolver o seguinte problema de programação linear inteira e binária:

$$\max \sum_{i=1}^n \varphi'_i x_i = \varphi'_1 x_1 + \varphi'_2 x_2 + \dots + \varphi'_n x_n \quad (6)$$

sujeito a

$$\begin{aligned} b_{1j}x_1 + b_{2j}x_2 + \dots + b_{nj}x_n & \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{bmatrix} B_j \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n &= c \\ x_i &\in \{0,1\}; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

onde:

x_i = variável que indica a seleção (1) ou rejeição (0) da alternativa i ao portfólio;

φ'_i = fluxo líquido adaptado da alternativa i conforme (5);

b_{ij} = contribuição (ou consumo) da alternativa i em relação à restrição j do problema;

B_j = valor do limite indicado à restrição j;

c = quantidade requerida de projetos selecionados na restrição adicional do problema;

n = número total de alternativas presentes no espaço de ações considerado;

m = número total de restrições originais existentes no problema.

Não é difícil perceber que, em relação ao problema original, adiciona-se apenas a restrição $\sum x_i = c$. A intenção do modelo, portanto, é selecionar o melhor portfólio com uma quantidade c de projetos. Os autores mostraram também que o portfólio c -ótimo permanece inalterado para qualquer valor de δ , o que corrige a distorção percebida.

Nesse sentido, o modelo proposto para alocação de recursos e usado neste trabalho segue o conjunto de passos relacionados abaixo (e cujo sequenciamento pode ser observado no fluxograma da Figura 3):

- Passo 1 – Cálculo do portfólio p -ótimo

Sobre os fluxos líquidos gerados a partir das relações de preferência exploradas na 1ª etapa da versão original do PROMETHEE V são aplicadas as transformações de escala sugeridas por Mavrotas, Diakoulaki & Caloghirou (2006). Em seguida, o problema de programação linear inteira é resolvido e cujo portfólio recomendado apresenta um número p de alternativas selecionadas. Este será convencionado de portfólio p -ótimo.

- Passo 2 – Cálculo do(s) portfólio(s) c -ótimo(s)

Uma nova restrição é imposta ao modelo, cuja quantidade c de projetos será dada por $p + 1$. A reconfiguração das restrições globais ao portfólio exige a verificação da existência de solução para o problema da equação 6. O processo se repete, aumentando o valor de c até que não se encontre mais solução viável. Os portfólios obtidos neste estágio são denominados portfólios c -ótimos.

É importante observar que portfólios com $c < p$ não apresentam, em valor total, resultados melhores que o portfólio p -ótimo. Logo, é necessário avaliar apenas portfólios com classe $c > p$.

Nos passos seguintes, busca-se comparar os portfólios obtidos em termos de desempenho, como se pode verificar adiante.

- Passo 3 – Cálculo de valores de desempenhos dos portfólios (por critério)

Como cada critério apresenta sua própria escala e unidade, apenas faz sentido comparar valores de desempenho sob a ótica de cada dimensão, isoladamente. Desse modo, para

calcular o desempenho de um portfólio c-ótimo em cada critério j , os desempenhos de todos os projetos contidos no portfólio são somados, considerando este mesmo critério, de acordo com a equação 7:

$$P_j^c = \sum v_{i,j} x_i \quad (7)$$

onde P_j^c é o desempenho do portfólio c-ótimo para o critério j , $v_{i,j}$ é o desempenho do projeto i para o critério j .

- Passo 4 – Cálculo de índices de concordância

A partir dos desempenhos calculados anteriormente, o índice de concordância tem como objetivo indicar a soma de pesos dos critérios cujo desempenho presente no portfólio c-ótimo seja maior que o do portfólio p-ótimo. Logo,

$$C_{(c,p)} = \sum k_j \quad (8)$$

onde k_j o peso do critério j , considerando que neste critério o desempenho do portfólio da classe c foi maior que o da classe p .

- Passo 5 – Recomendação

Ao fim do processo, ocorra a comparação dos portfólios c-ótimos com o p-ótimo e escolha do melhor. O procedimento será de escolha do portfólio com maior $C_{(c,p)}$, desde que ele assuma valor maior que 0,5. Em termos práticos, $C_{(c,p)} > 0,5$ indica que mais de 50% dos pesos atribuídos aos critérios do problema indicam um desempenho melhor do portfólio c-ótimo em análise. Caso não haja $C_{(c,p)}$ que obedeça a condição, o portfólio escolhido será o p-ótimo.

Todo o conjunto de procedimentos descrito serviu de base para a construção de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD), disposto na seção 3.2, a fim de conduzir todo o problema junto aos atores do processo decisório e com apoio constante dos analistas. Com isso, a principal contribuição desta ferramenta é estruturar o problema de decisão de forma consolidada e coerente com os objetivos da organização, representados pela estrutura de preferências do decisor.

3.2 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO (SAD) PARA O MODELO

Como ferramenta para aplicação do modelo proposto na seção anterior, foi construído um sistema de apoio a decisão (SAD) cujos procedimentos sequenciados pelo modelo são instrumentalizados para realização de todo o processo decisório, desde o recebimento e

armazenamento de dados, processamento dos mesmos e manipulação até a geração de informações importantes para o fim de recomendar a decisão ao usuário – que neste caso é o decisor atuante no problema.

Sendo assim, o SAD se configura como um modelo representativo, conforme classificação apresentada em De Almeida & Ramos (2002) e representa em termos práticos uma forma de alcançar processos empresariais eficazes em meio a decisões eficientes.

É necessário pontuar que o sistema desenvolvido para este trabalho considerar o estilo cognitivo do usuário, isto é, a forma com que ele observa e analisa os dados. Para tanto, o SAD foi concebido de modo a atender diversos aspectos funcionais, como relaciona De Almeida & Ramos (2002):

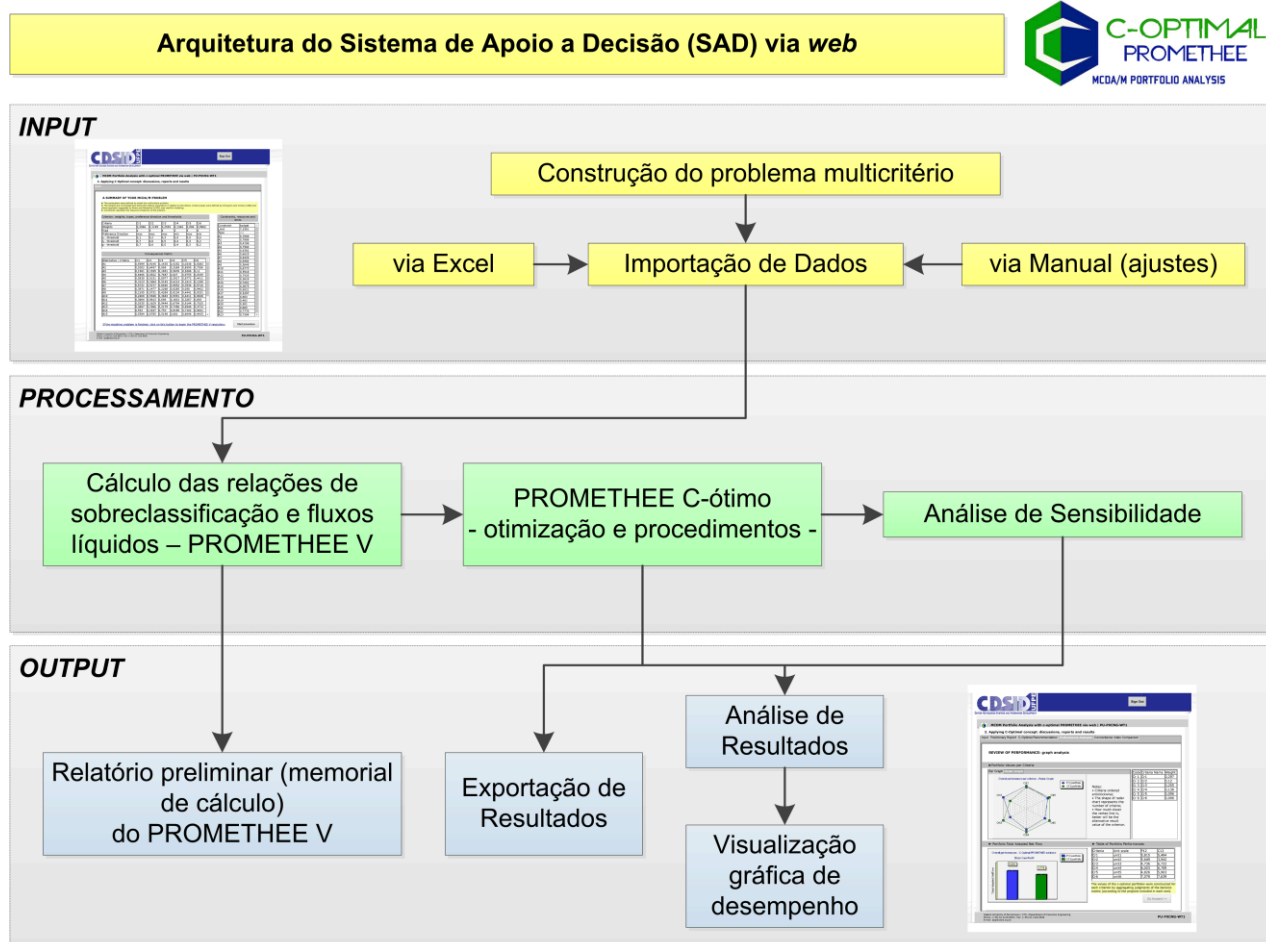
- i. Simplicidade: trata-se do caráter amigável do software;
- ii. Consistência: alcançada quando partes distintas do SAD fazem uso de procedimentos semelhantes a fim de executar uma tarefa específica;
- iii. Familiaridade: relacionada com o conforto do usuário com a organização da interface e cuja utilização pode ser feita por qualquer usuário sem grandes dificuldades;
- iv. Informatividade: ao incluir avisos de erros, possivelmente com sua identificação e sugestões para alterações e procedimentos de correção; e
- v. Flexibilidade: para a navegação no e para entrada e saída do sistema.

A partir de uma adequada concepção de todo o SAD, foi documentado um plano de projeto e a partir daí a construção do software foi realizada no Ambiente Delphi 2010, utilizando a linguagem de Programação Object Pascal. Sendo uma aplicação voltada para a web (*web-based*), o sistema faz integração com:

- *Microsoft Office Excel* – ao permitir como opção a inserção dos dados a partir de planilha;
- Biblioteca de programação matemática *LPSolve* – para execução do problema de programação linear inteira presente no modelo adotado; e
- Biblioteca de gráficos *TeeChart* – para visualização gráfica dos resultados almejados.

A figura 4 esquematiza a arquitetura do sistema de apoio a decisão, cuja funcionalidade e etapas de processamento são comentados a seguir.

Figura 4 – Esquema da arquitetura elaborada para o Sistema de Apoio a Decisão



Fonte: O Autor

A lógica de programação foi baseada no conceito de modularidade, no qual o software é dividido em componentes nomeados separadamente e endereçáveis, frequentemente chamados de módulos, que são integrados para satisfazer os requisitos do problema (PRESSMAN, 2010).

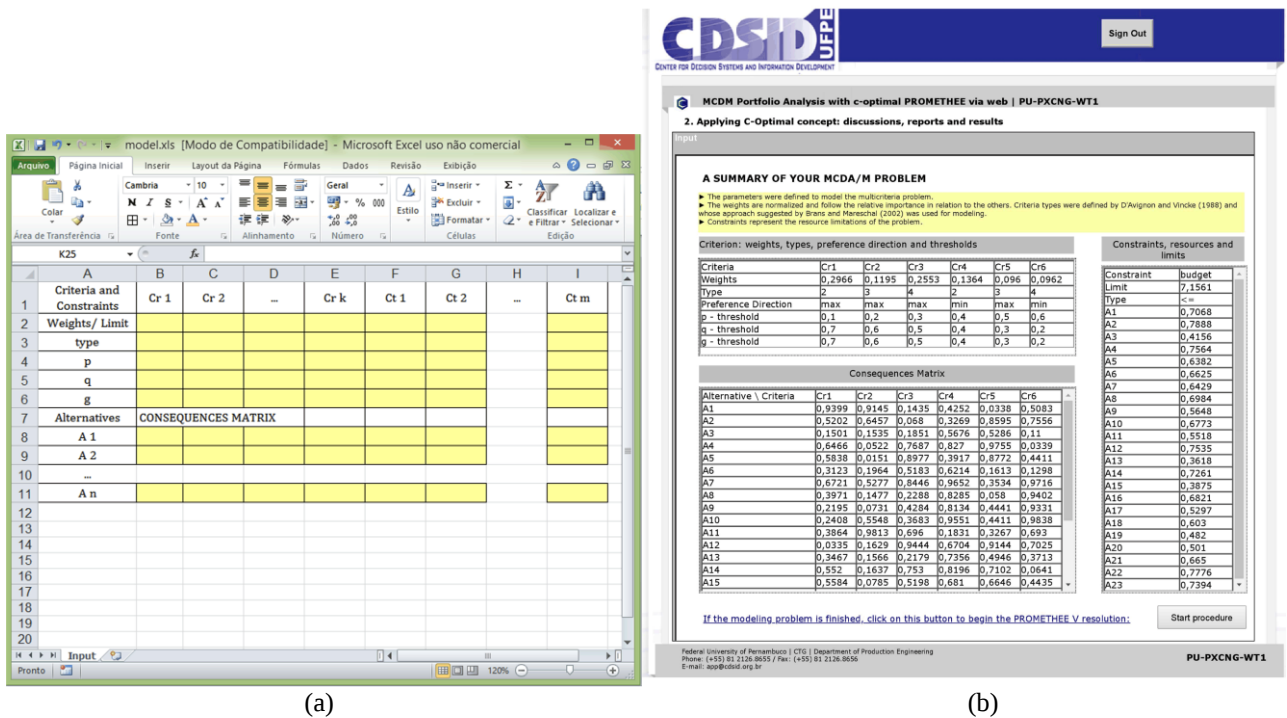
Na etapa de *Input*, as entradas do modelo requeridas são baseadas nos parâmetros relacionados ao modelo proposto da seção anterior, os quais incluem informações sobre os critérios (nome, unidade da escala, tipos, limiares de preferência, indiferença e/ou gaussiano), alternativas (nome e desempenhos relativos a cada critério) e restrições (os consumos dados por alternativa, o limite da mesma e o tipo de desigualdade que o caracteriza).

Os dados de entrada do *software* são importados através de planilha eletrônica Excel em aba única. O preenchimento deve obedecer estritamente o modelo padrão (Figura 5-a). Além disso, a direção de preferência de um dado critério é definida manualmente nesta etapa. Uma

tela intermediária é mostrada ao usuário com o intuito de definir qual a direção de preferência dos critérios inseridos, ou seja, a maximização ou a minimização de seus desempenhos.

Posteriormente, a fim de validar a importação, verificações de preenchimento são realizadas e caso haja algum empecilho para finalização desta etapa, avisos são emitidos ao usuário. Desse modo, com as respectivas pendências listadas, espera-se que o usuário ajuste os parâmetros de forma manual ou reinicie a importação da planilha com as devidas alterações. Uma vez importados os parâmetros, é possível visualizar um resumo do problema multicritério a ser avaliado pelo modelo (Figura 5-b).

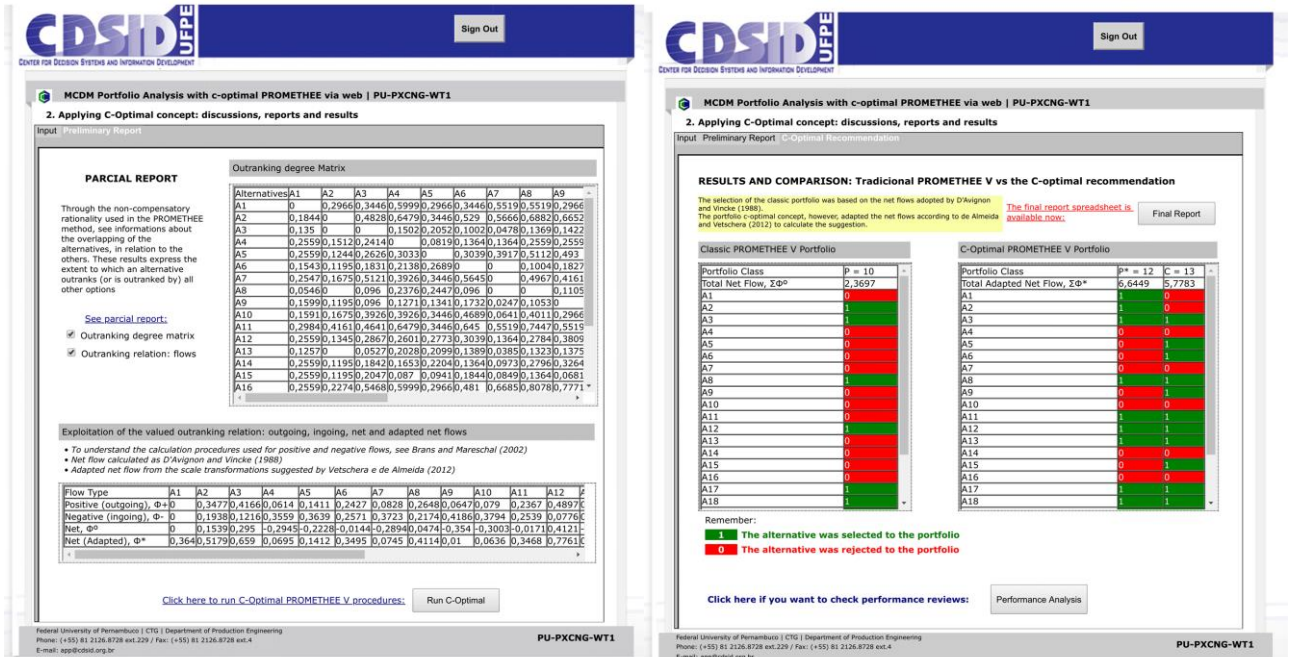
Figura 5 – (a) Planilha padrão para input dos dados no SAD. (b) Tela de resumo dos dados de entrada do problema.



Fonte: O Autor

O estágio de processamento então é iniciado para exploração das relações de preferência entre as alternativas. A Figura 6 traz algumas telas do software referentes a esta etapa. Os procedimentos matemáticos típicos do PROMETHEE V são realizados a fim de obter os fluxos líquidos para o processo de otimização, na procura pelas soluções c-ótimas.

Figura 6 – (a) Tela de relatório preliminar do PROMETHEE (b) Tela com as soluções c-ótimas encontradas (c) Tela para calibração da análise de sensibilidade.



(c)

Fonte: O Autor

Como resultado preliminar, o memorial de cálculo acerca desta etapa é disponibilizado em uma aba na tela do software (Figura 6-a) que inclui não só a matriz de avaliação da sobreclassificação, como também o resultado dos fluxos líquidos (adaptados pelas transformações de escala sugeridas com o δ adotado de 0,01) e a ordenação resultante do PROMETHEE II. De fato, tais informações são mais relevantes para os analistas a fim de esclarecer eventuais questionamentos sobre o modelo que possam surgir.

Sendo assim, com auxílio da biblioteca de programação linear *LPSolve*, o problema da equação 2 é resolvido e as soluções ótimas são expostas na tela (Figura 6-b).

O último passo do processamento, portanto, é a análise de sensibilidade global (Figura 6-c), na qual são realizadas simulações dos parâmetros de entrada e verificada a variação do resultado final.

A análise de sensibilidade é construída de modo que o SAD permite variação de:

- a) Todos os pesos;
- b) Desempenho das alternativas em relação a cada critério.

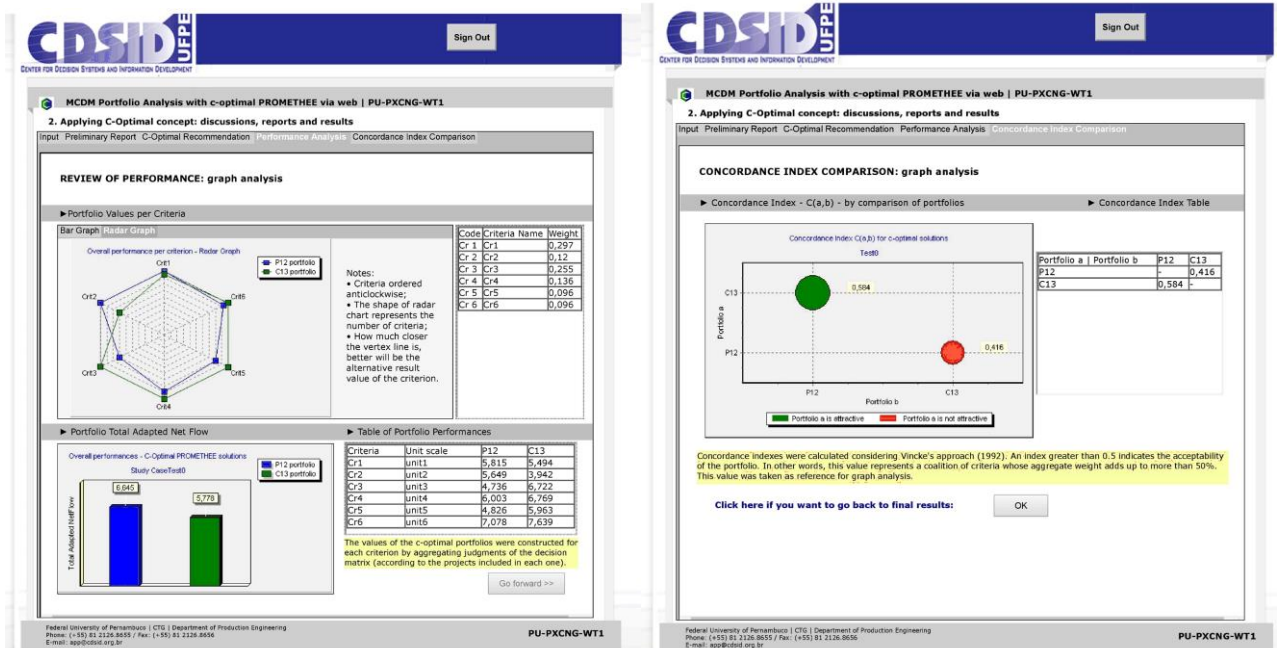
Para estes parâmetros são gerados números aleatórios conforme distribuição de probabilidade uniforme ou triangular. O valor original do parâmetro é variado em um em uma faixa percentual de intervalo em torno do mesmo, obtendo os valores máximo e mínimo, respectivamente. Para a distribuição triangular, o valor mais provável do parâmetro corresponde ao próprio valor original. O número de instâncias n a serem avaliadas deve ser tão grande quanto necessário para atingir os percentuais de variação estabelecidos. O SAD, no modo *default*, sugere a realização de uma simulação com 100 mil instâncias.

Por fim, a etapa de output do sistema de apoio a decisão permite a exposição dos resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto, como observado na Figura 6-b, além de uma análise comparativa entre os portfólios ótimos gerados através da exportação de planilhas e de visualização gráfica.

É bastante importante o uso de recursos gráficos (através da integração da biblioteca *TeeChart*) que contribuam ao aspecto cognitivo desta etapa. As análises mais importantes do processo de apoio a decisão serão realizadas neste módulo, como representado na tela da Figura 7-a. Por meio de gráficos de barra e de radar ocorre a comparação entre desempenhos dos portfólios ótimos sob a ótica de cada critério, bem como respectivos gráficos de barra para comparação do fluxo líquido total dos portfólios e os índices de concordância que nortearão a recomendação dada pelo SAD ao decisor (Figura 7-b).

Como resultado da análise de sensibilidade, pode ser observado o percentual de vezes que determinado portfólio foi selecionado, a fim de verificar a robustez do modelo (Figura 7-c). Novamente, recursos gráficos são utilizados para oferecer e visualização ao usuário.

Figura 7 – (a) e (b) Telas com análise gráfica de desempenho dos portfólios ótimos (c) Telas de análise gráfica da análise de sensibilidade dos resultados



(c)

Fonte: O Autor

É importante pontuar que as visualizações gráficas são introduzidas para que todo o layout seja simples e rico em detalhes (dos resultados) para auxiliar o tomador de decisão, escolhendo o melhor portfólio. O recurso gráfico tem sido cada vez mais aplicado como uma ferramenta importante para o aprimoramento do processo de auxílio à decisão, como demonstrado por De Almeida & Roselli (2017), Roselli, Frej & De Almeida (2018) e Roselli, De Almeida & Frej (2019). Desta forma, o SAD dá segurança e robustez à recomendação, além de proporcionar aos usuários uma tomada de decisão clara e concisa.

Desenvolvido como um aplicativo baseado na web, o SAD “*MCDM/A Portfolio Analysis with c-optimal portfolio concept for PROMETHEE web-based, code PU-PXCNG-WT1*” está disponível mediante solicitação (veja em www.cdsid.org.br).

Diante do exposto, é perceptível que o sistema de apoio a decisão foi construído em consonância com o modelo proposto para alocação de recursos no contexto elétrico, atendendo aos requisitos funcionais e aspectos cognitivos relevantes para promover um verdadeiro auxílio no processo decisório. Para tanto, a seção posterior abrangerá, por meio de 2 estudos de caso, a aplicabilidade do modelo proposto com uso do SAD descrito aqui, cujas discussões e análises servirão de base para verificar os reais benefícios dessa ferramenta metodológica apresentada neste trabalho.

4 APLICAÇÃO DO MODELO COM ESTRUTURAÇÃO DE PROBLEMAS MULTICRITÉRIO NO CONTEXTO DE UMA ORGANIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta seção, aplicar-se-á o modelo proposto de seleção de portfólio de projetos ao contexto do setor elétrico, no sentido de validar seus potenciais benefícios apontados ao longo desta dissertação. Para tanto, será utilizado o sistema de apoio a decisão (SAD) como ferramenta metodológica na condução de todo o processo decisório.

Através de uma revisão sistemática da literatura, foram selecionados dois casos de caráter multidimensional que abordam problemas desta área, com adaptações necessárias e particulares a cada aplicação. Ambos os estudos baseiam-se em dados realísticos na construção de critérios, alternativas e restrições que permitem avaliar a contribuição do conceito de portfólio c-ótimo à gestão de recursos no ambiente de atuação das organizações.

Para tanto, os problemas de decisão tratados por Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017) e López & De Almeida (2014) foram aqui construídos à luz do procedimento de 12 etapas (DE ALMEIDA et al., 2015) – ilustrados na Figura 1 e comentados no capítulo 2 – com o objetivo não somente de solucioná-los como também de analisar os resultados obtidos.

4.1 PRIMEIRO ESTUDO DE CASO: adaptado de Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017)

Neste item, o problema adaptado dos referidos autores será estruturado e resolvido à luz do modelo proposto.

4.1.1 Descrição do problema

Os autores ambientam o seu problema de decisão em uma situação real de gestão de portfólio no contexto elétrico enfrentada pela PDVSA (Petróleo da Venezuela S.A.), a mais importante empresa de petróleo e gás na Venezuela. Como empresa estatal de energia, entidade legal onde os governos detêm parcial ou totalmente as ações com direito a voto, os decisores em geral alinham suas ações e decisões à estabilidade financeira e ao retorno econômico da empresa.

Entretanto, estes devem também beneficiar diversos atores que são direta ou indiretamente impactados pelas suas atividades. Em outras palavras, sejam empregados,

comunidades locais ou sociedade em geral, a gestão de uma organização estatal necessita promover a esses indivíduos ações de segurança, geração de oportunidades, sustentabilidade, entre outros fatores essenciais para o desenvolvimento da população.

Nesse sentido, o núcleo gerencial da PDVSA dá atenção especial ao planejamento e gerenciamento de projetos de macro engenharia considerando múltiplas perspectivas. De fato, desdobram-se do planejamento estratégico da organização desafios e dificuldades no tocante à alocação de recursos para a execução de projetos nacionais importantes.

Dentre eles, podem-se destacar os investimentos da estatal (bem como de suas subsidiárias) que buscam sustentar a geração, transmissão e distribuição de eletricidade no país, cuja operação e funcionalidade destas foram constantemente afetadas desde a crise energética venezuelana ocorrida no início desta década. Este problema de decisão busca, portanto, selecionar os projetos viáveis de um portfólio que atue simultaneamente no desafio relatado e atenda às perspectivas socioeconômicas apontadas anteriormente.

Etapa 1 – Caracterização do(s) decisor(es) e outros atores

O contexto de aplicação indica que o decisor seja o presidente do Conselho de Administração da empresa, que é o responsável pela seleção estratégica de projetos a serem investidos, seja na expansão ou alteração de obras já existentes, como também na concepção e execução de novas construções.

Embora esta aplicação seja um caso de decisão individual, outros atores interferem no processo decisório, como por exemplo, os demais conselheiros, os analistas das áreas de planejamento e seus gerentes, que podem ser considerados especialistas no contexto da decisão por possuírem informações factuais do caso estudado.

Além disso, é importante avaliar a presença de *stakeholders* (como acionistas e representantes governamentais) e cuja influência (“pressão”) deve ser administrada de forma cuidadosa a fim de priorizar os interesses da organização.

Etapa 2 – Definir objetivos

Como objetivo geral, o decisor visa maximizar a lucratividade da empresa. Entretanto, isso pode ser alcançado por intermédio de diversos objetivos-meio, como aprimoramento de recursos humanos e técnicos, seleção de novas tecnologias, impacto social da implementação dos projetos às comunidades vizinhas, aumento da sustentabilidade financeira e retorno econômico de empreendimentos, entre outros objetivos.

Etapa 3 – Determinar critérios

Quanto à definição dos critérios do problema, é importante entender que eles devem representar os objetivos explicitados acima. Quatro critérios foram considerados relevantes para o estudo e são detalhados a seguir:

a) Critério 1: Valor Presente Líquido (VPL) – corresponde a um indicador econômico da capacidade de geração de lucro a estatal dado o fluxo de caixa esperado para determinado investimento presente em seu portfólio de projetos. Sendo assim, a estimativa de mercado proporciona obter tal indicador em uma escala numérica de razão e crescente (maior-melhor), uma vez que maiores valores de VPL indicam maior lucratividade para a organização.

b) Critério 2: Retorno ao Risco – trata-se de outro indicador econômico que relaciona a quantia de retorno obtida em um investimento e a quantidade de risco assumida naquele. Nesse sentido, é necessário pontuar que este indicador foi inserido pelo decisor como critério que considere aspectos de incerteza e flexibilidade em todas as avaliações possíveis do portfólio de projetos de energia. De fato, embora empreendimentos de grande porte possibilitem elevado retorno financeiro, níveis mais complexos de execução e operação proporcionam aumento no grau de risco envolvido. Para a avaliação de desempenho, este critério oferece uma escala numérica de razão e é do tipo crescente (maior-melhor).

c) Critério 3: Contribuição ao Produto Interno Bruto (PIB) – foi incluído na análise como um atributo que mensura o impacto econômico em unidades monetárias do projeto de investimento em questão. Como a política de investimentos da PDVSA influencia diretamente o PIB nacional, o critério construído representa qual o valor adicional em termos de bens e serviços que determinado projeto pode dispersar na economia local. Novamente, a escala numérica de razão compõe a avaliação de consequências deste critério, além de ser crescente (maior-melhor).

d) Critério 4: Empregabilidade – corresponde ao número de empregados e trabalhadores que um projeto contrata (ou número de indivíduos que deixam o desemprego) quando este é implementado. Sendo assim, a interação entre bens e serviços da empresa é relevante para medir o impacto social proporcionado com a execução dos projetos estratégicos selecionados por ela. Medida em números absolutos de empregados, a escala numérica do tipo crescente é adotada, uma vez que maiores postos de trabalhos gerados pelo empreendimento aumentam o impacto social de empregabilidade da comunidade local.

Etapa 4 – Delimitar espaço de ações e problemática

Há três tópicos a serem abordados nesta etapa: a) estabelecer a estrutura do conjunto de alternativas, b) gerar as alternativas, c) estabelecer a problemática a ser aplicada a este conjunto.

Quanto ao conjunto de alternativas do problema, ele é discreto e composto por 20 projetos de naturezas distintas, cujas perspectivas de alguns projetos foram obtidas de fontes publicamente disponíveis, além de entrevistas com especialistas e características de empresas de energia estatais de energia para a América Latina. A especificação do portfólio de investimentos disponível para a estatal se dispõe conforme descrito na Tabela 2. O custo de implementação dos mesmos também se encontram relacionados abaixo.

Tabela 2 – 1ª aplicação: Relação de alternativas do espaço de ações do problema. Custo de implementação em milhões de dólares americanos (US\$).

Código	Nome do projeto	Descrição	Custo
Pro1	Implementação de tecnologia	Planejamento de recursos empresariais para distribuição e venda de petróleo e gás	12
Pro2	Energia Solar Urbana	Instalação de painéis de energia solar perto da principal área urbana	100
Pro3	Energia Solar Rural	Instalação de painéis de energia solar perto da comunidade rural	100
Pro4	Expansão da Companhia de Petróleo	Aquisição de uma empresa de transporte com novos veículos	250
Pro5	Contratação da Empresa de Gás Natural Liquefeito	Gerenciamento dos negócios não lucrativos (desinvestimentos de ativos)	400
Pro6	Companhia Petroquímica A	Venda de negócios e aquisição de uma linha de distribuição	145
Pro7	Companhia Petroquímica B	Venda de negócios e aquisição de uma linha de distribuição	145
Pro8	Usina Hidrelétrica	Construir e desenvolver uma nova usina hidrelétrica em cooperação com o setor privado	540
Pro9	Estrada Interurbana	Promoção que facilita projetos “downstream”	90
Pro10	Plataforma de perfuração	Construção devido à obsolescência e falta de novos projetos	75
Pro11	Energia eólica	Investimento em uma planta de transmissão de energia eólica como projeto renovável	250
Pro12	Terceirização de logística de petróleo	Transporte de produtos petrolíferos	20
Pro13	Exploração em mar profundo de petróleo e gás	Novos investimentos de exploração e perfuração em águas profundas	250
Pro14	Empreendimento conjunto em mar profundo	Exploração e perfuração em águas profundas em conjunto com empresa internacional	250
Pro15	P&D de produtos petrolíferos sustentáveis	Introdução de um novo combustível para veículos (menor CO ₂ emissões)	30
Pro16	Infraestrutura de transporte	Inclui terminais de liquefação, embarcações e instalações de regaseificação	400

Código	Nome do projeto	Descrição	Custo
Pro17	Sistema de Tratamento	Injeção de diferentes águas tratadas para recuperação secundária de óleo	90
Pro18	Refinaria	Produção de produtos leves (gasolina e diesel) a partir de petróleo bruto	798
Pro19	Ponte	Ponte de 12 km que facilita o transporte de óleo	56
Pro20	Instalações de armazenamento a diesel	Estratégia para otimizar custos operacionais e de leasing	65

Fonte: Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017)

Entretanto, é necessário considerar que apenas parte dos recursos financeiros da organização pode ser destinada à finalidade requerida, o que constitui um entrave para execução de todo o seu portfólio de projetos. Portanto, há de se escolher um conjunto de projetos os quais busquem atender aos critérios detalhados com desempenho satisfatório de modo a não superar a restrição orçamentária imposta pelo conselho financeiro da estatal.

Embora o trabalho de Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017) não quantifique essa limitação, consultas feitas a relatórios anuais da empresa estatal constatarem uma tendência de aporte de recursos para investimento de aproximadamente 2,15 bilhões de dólares (PDVSA, 2016). Para efeitos de aplicação, esta será a limitação orçamentária adotada ao problema em estudo.

Portanto, dada a necessidade de escolher os projetos que melhor representem os interesses da empresa e respeitando a restrição orçamentária adotada, a problemática mais adequada a esta realidade é a de portfólio, de acordo com a classificação dada por De Almeida (2013), pois ela caracteriza-se pelo objetivo de escolher de um grande conjunto de alternativas – através da interação das alternativas com o conjunto dado – um subconjunto que atenda aos diferentes objetivos do problema atendendo algumas restrições.

Etapa 5 – Verificar estados da natureza

O caráter determinístico associado às avaliações de desempenho das alternativas para este problema evidencia que não há possíveis estados da natureza que interferem nos valores das consequências em questão.

Etapa 6 – Modelar estrutura de preferências

A estrutura mais adequada para representar as preferências do decisor é a estrutura (P, I), uma vez que o decisor consegue identificar relações de preferência e indiferença entre os pares de consequências com a possibilidade de empate por similaridade.

Dessa forma, dois aspectos dessa modelagem devem ser observados:

- i. A ausência da incomparabilidade implica que todas as alternativas podem ser comparadas entre si;
- ii. Adota-se percepção de uma racionalidade não compensatória do decisor a cerca dos desempenhos entre os critérios do problema. O decisor, ao avaliar as alternativas, busca identificar qual delas é mais bem avaliada para cada critério, não importando o quanto cada alternativa é melhor na dimensão considerada.

No tocante à escolha do método para execução das etapas posteriores, as considerações expostas credenciam a aplicação do modelo multicritério PROMETHEE V com inserção do conceito c-ótimo para avaliação do problema de seleção de portfólio de projetos.

Etapa 7 – Avaliação intra-critério

Uma questão importante a ser tratada é a avaliação intra-critério com base no modelo PROMETHEE V c-ótimo escolhido para resolução do problema.

Com o objetivo de explorar relações de sobreclassificação entre as alternativas do espaço de ações, para cada critério é definida uma função de preferência. Esta representa a intensidade de preferência de uma alternativa em relação à outra em função da diferença dos níveis de performance delas no critério em questão.

O método PROMETHEE usado no modelo apresenta seis diferentes tipos de função de preferência as quais devem adaptar o comportamento do critério à realidade do estudo de caso (BRANS, VINCKE & MARESCHAL, 1986). Para esta aplicação, admite-se que todos os critérios construídos pela empresa são do tipo verdadeiro (ou usual). A matriz de desempenho das alternativas em relação aos critérios previamente estabelecidos encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – 1ª aplicação: Matriz de consequências do problema

	Retorno ao risco	Contribuição ao PIB (milhões US\$)	Empregabilidade	Valor Presente Líquido (milhões US\$)
Pro1	4,73	68	25	15
Pro2	0,15	474,96	118	150
Pro3	0,14	460	118	150
Pro4	1,76	799,8	112	400
Pro5	0,52	-140	-70	600
Pro6	0,85	581,04	119	300
Pro7	0,89	581,04	119	300
Pro8	0,54	1495,81	169	110
Pro9	0,16	862,67	107	120
Pro10	0,67	-123	-45	125
Pro11	0,22	322	85	435
Pro12	0,12	-185	-54	100

	Retorno ao risco	Contribuição ao PIB (milhões US\$)	Empregabilidade	Valor Presente Líquido (milhões US\$)
Pro13	0,29	947,38	235	500
Pro14	0,44	757,9	188	500
Pro15	2,97	456	109	20
Pro16	1,24	350	145	750
Pro17	0,63	123	45	85
Pro18	0,14	1088,68	276	432
Pro19	0,23	234	134	78
Pro20	0,14	321	132	150

Fonte: Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017)

Etapa 8 – Avaliação inter-critério

Esta etapa se baseia na atribuição de pesos relativos aos critérios de acordo com a importância dada pelo decisor (encarado como representante da PDVSA). Os pesos não podem ser negativos e as suas representações são objetivas e claras, ou seja, evidenciam que quanto maior o peso, maior é a importância dada pelo decisor àquele critério.

Isso é permitido graças ao modelo escolhido. Por se tratar de um método de sobreclassificação, não existe a necessidade de mudanças de escala para realizar a análise binária entre as alternativas.

A Tabela 4 abaixo relaciona os pesos normalizados e resultados da preferência estratégica da empresa estatal, manifestada pelo do tomador de decisão do problema através de avaliação direta.

Tabela 4 – 1ª aplicação: Relação de critérios e os respectivos pesos do problema

	Retorno ao risco	Contribuição ao PIB (milhões US\$)	Empregabilidade	Valor Presente Líquido (milhões US\$)
Peso	0,48	0,2	0,2	0,12

Fonte: Hernandez-Perdomo, Mun & Rocco (2017)

4.1.2 Resultados da aplicação e análise de desempenho

Uma vez definidos todos os parâmetros e premissas do modelo, a etapa 9 do framework busca avaliar as alternativas em questão seguindo a metodologia descrita no item 3.1 do capítulo anterior a fim de se chegar ao conjunto de portfólios c-ótimos para alocação de recursos (Tabela 5). A referida aplicação foi realizada com auxílio do sistema de apoio a decisão “*MCDM/A Portfolio Analysis with c-optimal portfolio concept for PROMETHEE web-based, code PU-PXCNG-WT1*” desenvolvido para esta avaliação.

Tabela 5 – 1ª aplicação: Portfólios c-ótimos como resultados da modelagem multicritério

Portfólio	P14	C15	C16
Pro1	1	1	1
Pro2	0	0	1
Pro3	1	1	1
Pro4	1	1	1
Pro5	1	1	1
Pro6	0	1	1
Pro7	1	1	1
Pro8	1	0	0
Pro9	1	1	1
Pro10	1	1	1
Pro11	0	0	1
Pro12	1	1	1
Pro13	0	0	0
Pro14	1	1	1
Pro15	1	1	1
Pro16	0	1	0
Pro17	1	1	1
Pro18	0	0	0
Pro19	1	1	1
Pro20	1	1	1
Total de projetos selecionados (classe do portfólio)	14	15	16

Fonte: O Autor

Sendo assim, os procedimentos matemáticos envolvidos no PROMETHEE V agregaram as avaliações intra e inter-critério numa matriz grau de sobreclassificação, da qual se originaram os fluxos líquidos. Estes sofreram adaptações necessárias com o intuito de formular os problemas de programação linear (PPL) inteira, juntamente com as restrições impostas ao estudo de caso.

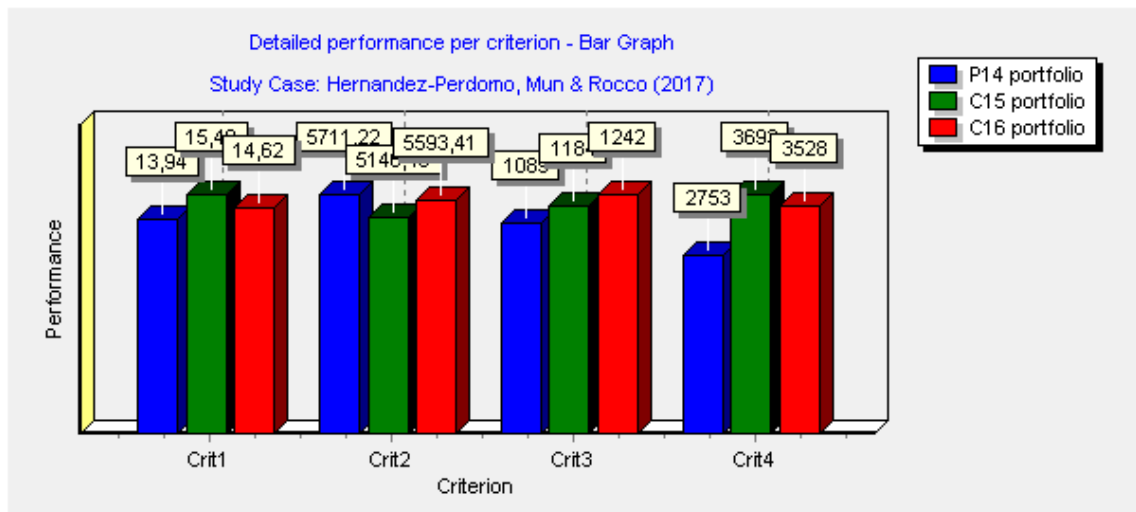
O resultado dos PPL, portanto, permitiu obter uma solução p-ótima, como resultado do procedimento original, além de duas soluções c-ótimas alternativas, como é possível observar na Tabela 5. A variável binária da alternativa indica se ela foi incluída no portfólio em questão (cujo valor atribuído é 1) – ou rejeitada (valor 0).

O estudo de caso apresentou como soluções ótimas (à luz do conceito c-ótimo inserido no modelo) 3 portfólios viáveis: a primeira solução (P14) contempla 14 projetos selecionados e é resultado da aplicação do PROMETHEE V clássico com as transformações de escala sugeridas. Posteriormente, o algoritmo encontrou ainda possíveis portfólios c-ótimos de

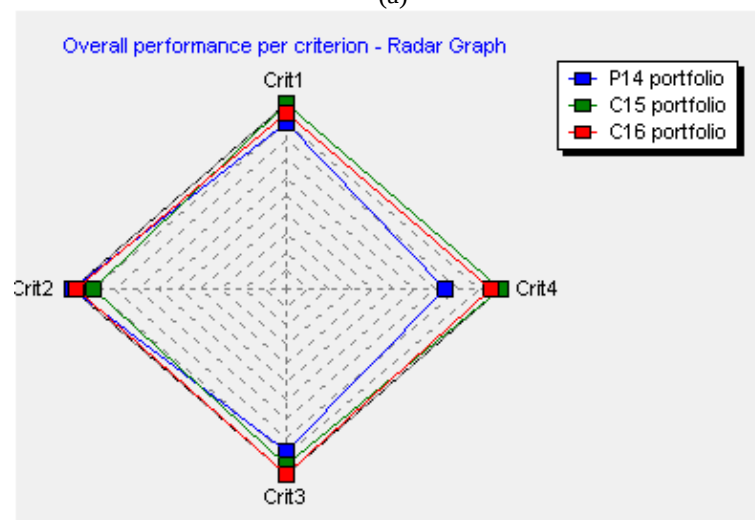
classes superiores, C15 e C16, que contemplam, respectivamente, 15 e 16 projetos selecionados.

Considerando os portfólios ótimos resultantes, o ponto de partida para avaliação do portfólio melhor recomendado às demandas do decisor é a comparação de desempenho global e local (por critério), como se pode observar nas figuras 8-a e 8-b.

Figura 8 - Gráficos comparativos de desempenho local (a) e global (b) das soluções ótimas da 1ª aplicação



(a)



(b)

Fonte: O Autor

Embora o fluxo líquido tenha sido maximizado via programação linear inteira, a adaptação de escala utilizada no modelo não garante que o portfólio P14 (enquanto solução inicial) represente o melhor subconjunto possível para seleção de projetos da estatal.

Vale ressaltar também que, como o algoritmo do modelo PROMETHEE c-ótimo encontrou como soluções alternativas as C15 e C16 (embora com fluxo líquido total inferior ao máximo), isso significa que não houve solução viável que aprovasse 17 projetos, em respeito à limitação orçamentária.

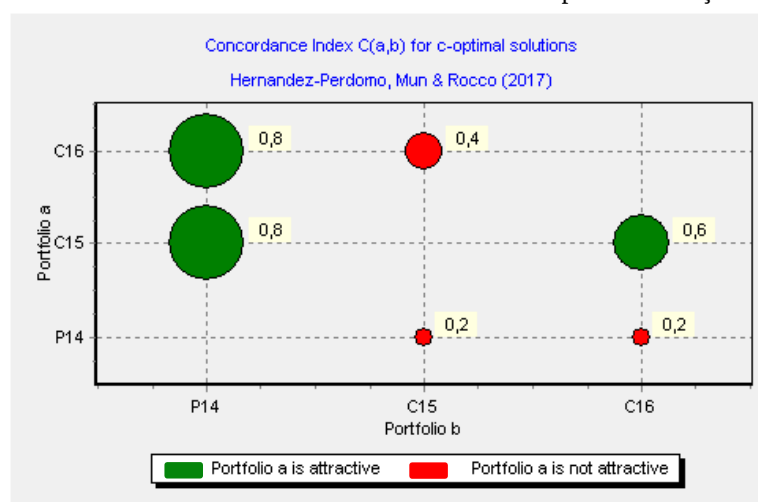
Detalhados os valores de *performance* de cada dimensão avaliada nas figuras anteriores, com auxílio da visualização gráfica de desempenho global dos portfólios, é possível tecer algumas considerações importantes:

- O portfólio p-ótimo P14, apesar de ser o preterido à recomendação final devido ao máximo valor de fluxo líquido, seu desempenho é superado por ambos os portfólios alternativos em todos os critérios, com a exceção do critério Contribuição ao PIB (Crit2).
- O portfólio c-ótimo C15 apresenta considerável impacto econômico e superior aos demais quanto às dimensões de Retorno ao Risco (Crit1) e Valor Presente Líquido (Crit4). Isso foi possível devido à substituição do projeto Pro8 em prol da seleção dos projetos Pro6 e Pro16. O custo adicional de 5 milhões de dólares devido a essa troca atende ao planejamento orçamentário da empresa e proporciona melhores indicadores financeiros ao executá-lo.
- O portfólio c-ótimo C16 é aquele cujo impacto social se apresenta mais relevante. Em relação à solução original (P14), ela é obtida através da aprovação dos projetos Pro2, Pro6 e Pro11 em detrimento da rejeição de Pro8. Em termos práticos, optar por esta solução aumenta em 14% a taxa de empregabilidade gerada com a implementação do portfólio estratégico da PDVSA. Além disso, cabe pontuar ganhos de desempenho também nos critérios de Retorno ao Risco e Valor Presente Líquido.

Para fins de recomendação ao decisor, uma atenção especial deve ser direcionada às constatações feitas acima, considerando agora os pesos atribuídos aos critérios de análise. Estes balizarão, através do índice de concordância par a par destas soluções, a melhor recomendação a ser proferida.

A Figura 9 reúne, para cada par de portfólios ótimos, a coalizão de pesos que favorecem uma determina solução em oposição à outra. Tal comparação é feita com base na racionalidade não compensatória que o modelo apresenta no seu escopo.

Figura 9 - Gráfico de bolhas relativos aos índices de concordância entre pares de soluções ótimas da 1ª aplicação



Fonte: O Autor

De acordo com os índices calculados e ilustrados na figura acima, fica evidente que:

- O portfólio C15 agrega 80% dos pesos em favor de sua preferência, quando comparado à solução tradicional (P14);
- De maneira análoga, em relação a P14, o portfólio C16 soma 0,8 dos pesos em seu benefício;
- Como o índice de concordância $C_{C15, C16}$ é igual a 0,6, isto indica que mais da metade dos pesos (ou 60% deles) são coalizados em prol do portfólio C15, quando comparado a C16.

Sendo assim, dadas essas considerações e em observação ao desempenho favorável do portfólio C15, pode se constatar que este deve configurar a melhor recomendação a ser dada ao decisor para cumprimento de seus objetivos.

4.1.3 Análise de Sensibilidade

Os resultados obtidos com a conclusão do modelo foram confrontados com possíveis alterações dos dados de entrada do problema, como os pesos e as avaliações de desempenho na matriz de consequências.

A dificuldade de traduzir, da organização, as preferências dos critérios em termos numéricos, além da avaliação das consequências – por se tratar de indicadores e dados imprecisos para a fase de concepção dos projetos –, procurou-se avaliar o quanto as soluções são robustas a estes parâmetros. Para tanto, foram simuladas 100.000 instâncias nas quais o

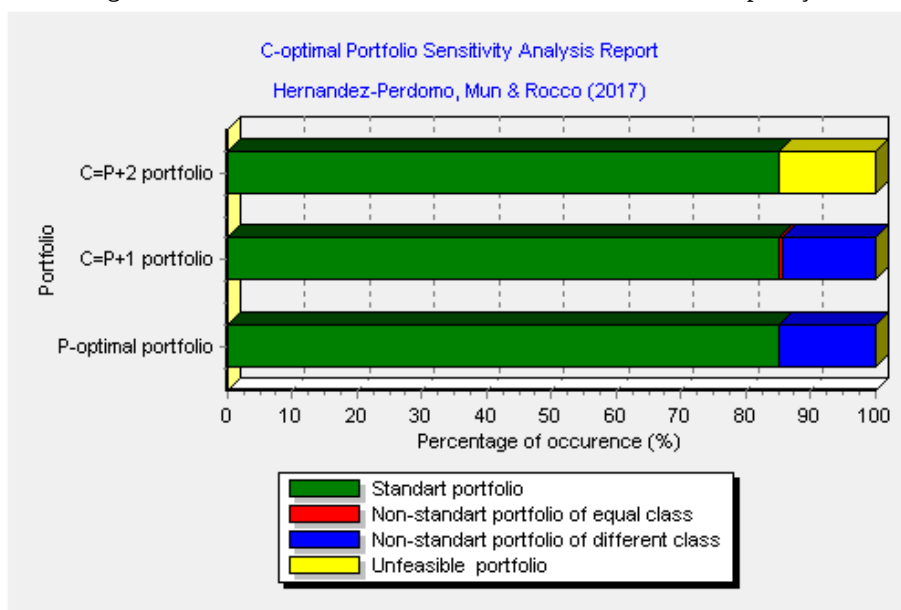
modelo do PROMETHEE V c-ótimo foi aplicado. A Figura 10 e tabela 6 sumarizam o resultado desta simulação.

Tabela 6 - Relatório de análise de sensibilidade da 1ª aplicação

Portfólio		P (P14)	C=P+1 (C15)	C=P+2 (C16)
Portfólio padrão	Frequência	84930	84930	84930
	Proporção	84,93%	84,93%	84,93%
Portfólio não-padrão (mesma classe)	Frequência	0	120	0
	Proporção	0%	0,12%	0%
Portfólio não-padrão (classe diferente)	Frequência	15070	14950	0
	Proporção	15,07%	14,95%	0%
Portfólio inviável	Frequência	0	0	15070
	Proporção	0%	0%	15,07%
Total de simulações		100000	100000	100000

Fonte: O Autor

Figura 10 - Gráfico-resumo da análise de sensibilidade da 1ª aplicação



Fonte: O Autor

Os parâmetros em questão sofreram variação simultânea na faixa de $\pm 10\%$ através de uma distribuição linear de probabilidade. Para discussão dos resultados, será chamado aqui de solução C=P+1 o portfólio com uma alternativa a mais que a solução clássica (P), e assim por diante. Considerando este comportamento, é necessário entender:

- 84,93% dos casos repetiram as soluções padrão obtidas. Em outras palavras, 84.930 casos apresentaram como portfólios P, $C=P+1$ e $C=P+2$, respectivamente, P14, C15 e C16;
- Aproximadamente 15% das simulações forneceram como solução P o portfólio C15 e solução $C=P+1$, quase na mesma proporção, o portfólio C16. Desse modo, isto indica que em tais simulações, os portfólios se diferem dos padrões em relação a sua classe;
- Uma quantidade ínfima de 120 casos (0,12%) foi registrada indicando um portfólio $C=P+1$ diferente de C15, porém de mesma classe. O portfólio alternativo em questão indica a entrada dos projetos Pro 2 e Pro8 e saída de Pro4 e Pro16.
- Quanto a uma segunda solução c-ótima ($C=P+2$), não foi encontrada solução viável em 15.070 casos.

O impacto observado devido a essas variações não provocou modificação substancial na seleção dos portfólios ótimos, evidenciando que o modelo é robusto e capaz de ser utilizado com sucesso para problemas similares.

Etapa 11 – Recomendação ao decisor

Com base nas etapas 9 e 10, são analisados os resultados e é montado um relatório de recomendação para o decisor, com base na solução final obtida e nas análises de sensibilidade do modelo.

Etapa 12 – Implementar decisão

O ambiente de trabalho a qual a PDVSA apresenta confere uma complexidade à implementação da decisão, já que envolve não só a vontade do decisor, como fatores externos que acabam afetando a concretização dos empreendimentos estratégicos da empresa, como demora na aprovação de projetos, dificuldade na contratação de serviços específicos, cumprimento de prazos para licitações, entre outras questões.

4.2 SEGUNDO ESTUDO DE CASO: adaptado de López & De Almeida (2014)

Neste item, o problema adaptado dos referidos autores será estruturado e resolvido à luz do modelo proposto.

4.2.1 Descrição do problema

Este problema tem uma atenção voltada ao Setor Elétrico Brasileiro (SEB), com grau considerável de complexidade em relação ao caso anterior e cujas variáveis buscam retratar as demandas mais recorrentes de empresas do setor elétrico no Brasil.

A aplicação adaptada dos autores é realizada no ambiente corporativo de um sólido grupo atuante no SEB composto por 5 distribuidoras de energia elétrica e 3 empresas com naturezas distintas, para fins de prestação de serviços, comercialização e geração de energia. A atuação do grupo é relevante, uma vez que ela abrange uma população de quase 7 milhões de pessoas – sendo 2,2 milhões de consumidores, aproximadamente – numa extensão que chega patamares de 90 mil km² de cobertura de energia.

O panorama econômico observado em boa parte dessa década justificou o forte crescimento de demanda por energia. De fato, não só o consumo das famílias como também o estímulo dado ao setor produtivo explicam o aumento da demanda acima de patamares esperados para o período observado.

Entretanto, a política recente de revisões tarifárias que incidem sobre as empresas do setor tem direcionado os gestores a pautar a excelência operacional como objetivo estratégico central das empresas de distribuição. Sendo assim, espera-se que elas operem atendendo ao crescimento de mercado, respeitando as metas de qualidade estipuladas pelas agências regulatórias e otimizando os recursos disponíveis, o que potencializa a rentabilidade da organização.

A eficiência de gestão também é requisitada no contexto das empresas de serviço do setor elétrico, o que reforça a importância do planejamento estratégico na condução dos seus negócios. Desde o início deste século, o grupo em questão direciona sua prática gerencial na estruturação de estratégias consistentes que estejam alinhadas à dinâmica das empresas. Desse modo, os gestores buscam conceber projetos flexíveis, inovadores, de credibilidade e acessíveis financeiramente, com vistas à ampliação dos seus mercados.

Diante da diversidade de serviços oferecidos pelas empresas do grupo, o problema em questão se dá na revisão estratégica anual delas, na qual cerca de 80 novos projetos concebidos precisam ser selecionados num ambiente multidimensional que considere aspectos de relevância e potencial de agregação de valor aos negócios do grupo. Como o processo de seleção enfrenta muitas incertezas, uma vez que os projetos em análise estão em fase inicial de concepção, ocorre um grande desconforto para o processo decisório. Portanto, busca-se estruturar um problema de decisão multicritério que permita ao grupo escolher o melhor portfólio de projetos de forma a conseguir materializar o planejamento estratégico de modo a aperfeiçoar os recursos existentes e possibilitar um crescimento sustentável.

Etapa 1 – Caracterização do(s) decisor(es) e outros atores

A primeira etapa consiste na caracterização do(s) decisor(es) e outros atores envolvidos. Neste caso, o decisor é um membro da alta direção do grupo, sendo este responsável pela supervisão de planejamento e de portfólios de projetos das empresas vinculadas ao grupo, o que caracteriza o problema como um caso de decisão individual.

Entretanto, há de se observar a presença de especialistas de áreas diversas – como as de planejamento, financeiro, recursos humanos e qualidade – que podem ajudar o decisor com informações factuais sobre o problema em análise. Tais informações constam no descritivo que sumariza os principais pontos dos projetos estratégicos candidatos a seleção, tais como entregas tangíveis, prazo esperado, estimativa de custo e quantidade requerida de recursos humanos, por exemplo. Tudo isso, portanto, ajudará o decisor na fase de julgamento dos projetos para cada critério estabelecido.

Etapa 2 – Definir objetivos

A etapa seguinte é a de identificação dos objetivos. Nesse sentido, o objetivo geral do problema é maximizar a atuação empresarial do grupo no mercado elétrico brasileiro. Para atingi-lo, alguns objetivos-meio podem ser considerados, a saber: minimizar a complexidade gerencial dos projetos durante a fase de implementação, buscar maior grau de alinhamento do portfólio ao planejamento estratégico, capacidade de melhoria dos índices regulatórios do SEB, aumentar o grau de satisfação dos serviços oferecidos com sustentabilidade financeira em respeito às limitações de recursos humanos, entre outros objetivos.

Etapa 3 – Determinar critérios

A concepção dos critérios, de modo a representar os objetivos explicitados acima, é o ponto central do terceiro passo. Sendo assim, o decisor estabeleceu como prioritários seis critérios relevantes para o problema, como se pode ver a seguir:

a) Critério 1: Complexidade. É caracterizado como medida do grau de complexidade no tocante à fase de execução do projeto. É evidente, portanto, que projetos menos complexos apresentam aspectos técnicos mais simples e, portanto, são mais fáceis de implementar, o que os tornam mais atraentes para o decisor. Logo, este critério é de minimização (ou de menor-melhor), cujo julgamento se dá numa escala verbal – em posterior conversão para escala numérica –, a saber: baixo (1), médio (2) ou alto (3).

b) Critério 2: Impacto no Resultado. Ele busca medir o nível de resultado financeiro que o referido projeto trata para o grupo. Desse modo, projetos cujo retorno financeiro é maior se tornam prioritários nesta dimensão, uma vez que maximizará o lucro obtido pelo

grupo. Isto caracteriza o critério como de maximização (ou de maior-melhor) com uma escala verbal de avaliação – com conversão para escala numérica –, a saber: baixo (1), médio (2) ou alto (3).

c) Critério 3: Alinhamento estratégico. O grau de compatibilidade do projeto às estratégias do grupo é o ponto central deste critério. Não é difícil perceber, portanto, que maiores graus de alinhamento estratégico são mais interessantes para as empresas, no sentido de potencializar sua inserção no mercado com base nas suas missões e valores. O critério é do tipo maior-melhor e cujo julgamento se dá numa escala verbal (com escala numérica associada), a saber: baixo (1), médio (2) ou alto (3).

d) Critério 4: Probabilidade de alcançar benefícios. Devido à incerteza inerente ao processo de concepção inicial de um projeto, esta dimensão busca avaliar a probabilidade que o projeto possui em alcançar os objetivos para os quais ele foi demandado. O critério é de maximização e seu julgamento é dado numa escala verbal – com valores numéricos associados –, a saber: baixo (35%), médio (60%) ou alto (85%).

e) Critério 5: Contribuição para satisfação dos clientes. Em outras palavras, mede o quanto o projeto satisfaz os clientes do grupo à luz dos seus objetivos. Maior índice de satisfação representa um impacto social significativo dos projetos, fator preponderante para manutenção e crescimento dos padrões de demanda dos serviços oferecidos pelo grupo. O critério é do tipo maior-melhor, com avaliação em uma escala verbal cujos valores numéricos também são associados, a saber: baixo (1), médio (2) ou alto (3).

f) Critério 6: Melhoria dos indicadores regulatórios. Em face dos índices regulatórios da ANEEL, esta dimensão mede o nível de melhoria dos indicadores ao executar um projeto estratégico, sendo mais interessantes aqueles que geram maior impacto positivo. Portanto, o critério é de maximização e seu julgamento é dado numa escala verbal – com valores numéricos associados –, a saber: baixo (1), médio (2) ou alto (3).

Etapa 4 – Delimitar espaço de ações e problemática

Na etapa 4 são estabelecidos o espaço de ações e a problemática. O conjunto de alternativas do problema é discreto, composto por 83 projetos estratégicos deste ciclo anual divididos em 4 categorias:

i. Projetos para ampliar margem (AM): buscam aplicar procedimentos, métodos e medidas para ampliar as margens de geração e distribuição de energia, prestação dos serviços e relacionamento com o cliente. 17 projetos compõem esta categoria;

ii. Projetos para reduzir riscos regulatórios (RR): apresentam mudanças estruturais na atividade das empresas de modo a diminuir os riscos inerentes aos processos e que são regulados pela ANEEL. É composto por 23 projetos;

iii. Projetos para aumentar a satisfação do cliente (SC): propostas que visam aproximar o cliente ao grupo e fidelizar a sua demanda através da satisfação pelos produtos oferecidos e serviços prestados. Nesta categoria, foram concebidos 14 projetos;

iv. Projetos para promover negócios competitivos (NC): buscam, através de seu escopo, implementar ações técnicas, gerenciais e de marketing para aperfeiçoamento da produtividade do grupo. 29 projetos compõem esta categoria.

Os projetos estão codificados conforme suas categorias, para fins de aplicação do modelo.

Ademais, o tipo de problemática escolhido é o de portfólio, pois com a situação enfrentada se verifica a necessidade de escolher uma combinação de projetos que atenda às limitações verificadas. Nesse contexto, cabe pontuar as restrições de recursos e de dependência consideradas na aplicação do modelo.

- Restrições de recursos: diz respeito às limitações encontradas no ambiente operacional da empresa, de ordem humana ou financeira. A Tabela 7 especifica, por projeto, os recursos humano e financeiro requeridos pelo portfólio.

a) Dos recursos humanos, R_{hum} (em homens-hora): o decisor definiu que para este processo de seleção, o portfólio selecionado deve consumir, no máximo, 20.000 homens-hora como recurso humano alocável para execução dos projetos estratégicos do grupo considerando as categorias em que podem ser classificadas. Portanto, deve-se observar de forma detalhada as limitações impostas pelo decisor a cada categoria de projetos, como pode ser visto a seguir.

- Categoria Ampliar Margem: 4.096 hh;
- Categoria Risco Regulatório: 5.542 hh;
- Categoria Satisfação do Cliente: 3.374 hh;
- Categoria Negócios Competitivos: 6.988 hh.

b) Dos recursos financeiros, R_{fin} (em milhares de R\$): embora o trabalho de López & De Almeida (2014) tenha considerado apenas recursos humanos em seu trabalho, foi incorporada para esta modelagem a restrição orçamentária como limitação importante para manutenção da sustentabilidade financeira da organização. Para tanto, foi estimado para

aplicação que o portfólio selecionado não deve ser superior a 35% do montante total estimado para todos os projetos estratégicos, juntos – quase 9 milhões de reais. Os custos de implementação dos projetos podem ser conferidos em outro trabalho dos autores, considerando o estudo de caso em análise (MARTINS et al., 2017).

- Restrições de dependência: o decisor verificou apenas a presença de dependência de execução entre projetos afins, não constatando, assim, a presença de projetos mandatórios ou mutuamente excludentes. Nesse sentido, quando da implementação de um projeto, o decisor pontuou como necessário que outro projeto também seja executado, e cuja limitação pode ser conferida a seguir:

- O projeto NC04 depende da execução do projeto NC05;
- O projeto NC06 depende da execução do projeto NC02;
- O projeto SC07 depende da execução do projeto SC06;
- O projeto SC10 depende da execução do projeto SC11.

Por fim, a quantidade limitada de recursos capacitados para gerenciar os projetos motivou o decisor a impor que a quantidade máxima de projetos em cada categoria não deve exceder a metade dos projetos propostos da mesma categoria, a fim de abranger todos os eixos de concepção das estratégias e promover um portfólio diversificado quanto às suas propostas. A matriz de desempenho das alternativas em relação aos critérios previamente estabelecidos encontra-se na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – 2ª aplicação: Matriz de consequências e recursos requeridos pelos projetos.

	Crit₁	Crit₂	Crit₃	Crit₄	Crit₅	Crit₆	R_{hum}	R_{fin}
AM01	2	2	3	0,35	1	2	640	353
AM02	3	2	2	0,85	1	1	480	285
AM03	3	3	3	0,6	3	3	480	380
AM04	1	3	2	0,6	3	3	640	167
AM05	2	1	3	0,85	3	2	720	401
AM06	1	2	3	0,35	1	1	320	306
AM07	2	1	3	0,6	3	2	160	407
AM08	2	2	3	0,85	1	1	160	480
AM09	3	1	1	0,6	1	1	800	510
AM10	2	1	2	0,6	2	2	1280	190
AM11	2	1	3	0,85	1	1	160	302
AM12	3	1	3	0,6	1	1	960	280
AM13	2	1	1	0,6	1	2	160	360

▼	Crit ₁	Crit ₂	Crit ₃	Crit ₄	Crit ₅	Crit ₆	R _{hum}	R _{fin}
AM14	2	2	1	0,6	1	2	160	380
AM15	3	2	1	0,6	1	2	640	400
AM16	3	2	2	0,6	1	2	620	500
AM17	2	2	2	0,6	1	2	320	299
RR01	1	1	1	0,6	2	1	800	294,3
RR02	1	2	2	0,85	1	2	320	476
RR03	3	2	3	0,6	3	3	160	310
RR04	3	2	2	0,85	1	1	2160	331,8
RR05	2	3	2	0,85	2	2	1280	270,5
RR06	1	1	2	0,6	1	2	960	455,6
RR07	3	2	3	0,6	1	2	320	253,7
RR08	3	1	1	0,6	1	2	320	442,1
RR09	2	1	2	0,6	1	2	480	399,8
RR10	3	2	2	0,85	3	3	160	184,1
RR11	1	1	2	0,85	3	3	160	475,9
RR12	1	2	3	0,35	2	2	160	502,9
RR13	2	2	1	0,6	1	1	320	355,6
RR14	2	1	3	0,6	1	2	1440	519,5
RR15	3	2	2	0,6	3	3	1280	120,4
RR16	2	3	2	0,6	1	2	640	372,3
RR17	2	2	2	0,85	3	1	800	266,8
RR18	2	2	2	0,85	2	3	160	369,9
RR19	3	3	2	0,6	1	2	160	261,4
RR20	3	3	3	0,6	1	3	320	171,4
RR21	1	1	1	0,85	2	2	1920	145,3
RR22	2	2	2	0,85	1	2	240	168,9
RR23	2	1	3	0,85	3	1	160	327,6
SC01	2	1	3	0,85	3	1	240	196,3
SC02	2	1	2	0,85	2	2	480	385,1
SC03	2	2	3	0,6	3	2	320	529,7
SC04	3	1	2	0,85	2	1	480	307,1
SC05	1	3	2	0,85	1	1	960	332
SC06	1	3	2	0,85	1	1	80	223,4
SC07	1	3	1	0,6	1	1	80	142
SC08	1	3	1	0,85	1	1	80	501,9
SC09	1	3	3	0,85	1	1	160	221,4
SC10	1	3	3	0,6	2	1	80	467,4
SC11	1	3	3	0,85	1	1	240	193,3
SC12	2	2	3	0,85	3	1	120	420,7
SC13	1	3	3	0,85	1	1	160	133,2
SC14	2	2	2	0,6	1	2	160	383,7
NC01	3	1	3	0,85	1	1	640	169,3
NC02	1	3	1	0,85	1	2	640	319,9
NC03	2	2	2	0,85	3	1	160	255
NC04	1	3	3	0,6	3	1	160	270,6
NC05	2	2	2	0,6	1	2	320	155,2

▼	Crit ₁	Crit ₂	Crit ₃	Crit ₄	Crit ₅	Crit ₆	R _{hum}	R _{fin}
NC06	2	2	2	0,6	3	1	640	382,2
NC07	1	3	2	0,85	2	1	320	98,6
NC08	1	3	3	0,6	1	2	240	185,9
NC09	2	2	3	0,85	1	1	320	189,8
NC10	3	1	3	0,6	1	2	160	202,2
NC11	1	3	1	0,85	1	2	640	380,6
NC12	3	1	3	0,6	2	2	160	338,8
NC13	1	3	3	0,85	1	1	960	343,4
NC14	1	3	2	0,85	1	1	240	190,1
NC15	2	2	3	0,85	1	1	1280	171,8
NC16	2	2	3	0,85	1	2	640	324,6
NC17	2	2	3	0,85	2	1	240	225
NC18	1	3	2	0,6	1	1	1280	244,7
NC19	1	3	3	0,85	3	1	160	253,4
NC20	2	2	3	0,85	2	1	160	206,7
NC21	3	1	2	0,6	3	1	240	240,8
NC22	3	1	3	0,85	1	1	320	260,4
NC23	3	1	3	0,6	1	1	640	404,7
NC24	2	2	3	0,6	1	2	960	165,7
NC25	1	3	2	0,35	1	2	1080	338,8
NC26	3	1	2	0,85	1	2	160	389,1
NC27	2	2	2	0,85	2	1	1280	174,9
NC28	2	2	3	0,85	1	1	640	309,2
NC29	1	3	1	0,35	1	1	480	397,5

Fonte: López & De Almeida (2014)

Etapa 5 – Verificar estados da natureza

Os julgamentos verbais a cerca do desempenho das ações estratégicas deste problema não permitem encontrar estados da natureza presentes na avaliação das consequências.

Etapa 6 – Modelar estrutura de preferências

Assim como justificado no item 4.1.1, uma estrutura de preferências que se adequa a realidade da organização é a estrutura (P, I), visto que o decisor não apresenta dúvidas no estabelecimento de indiferença ou preferência em relação aos critérios construídos.

Admitida a racionalidade não compensatória do decisor, e ressaltados os benefícios de sua utilização no item 4.1.1, o modelo multicritério PROMETHEE V com conceito c-ótimo será aplicado.

Etapa 7 – Avaliação intra-critério

A etapa anterior torna possível a avaliação intra-critério deste problema considerando que todos os critérios estabelecidos são do tipo verdadeiro (ou usual). Isto servirá de base para

exploração das relações de sobreclassificação entre alternativas, com base na matriz de consequências do problema (Tabela 7).

Etapa 8 – Avaliação inter-critério

A adoção de um modelo de sobreclassificação implica que os pesos dos critérios representam apenas o grau de importância em relação ao problema analisado. Desse modo, entrevistas com o decisor permitiram obter o grau de importância de cada critério, dispostos a seguir de forma decrescente de importância:

- Impacto no resultado – 100;
- Alinhamento estratégico – 80;
- Melhoria dos indicadores regulados – 60;
- Contribuição para satisfação dos clientes – 50;
- Probabilidade de alcançar os benefícios – 40;
- Complexidade – 20.

Um processo de normalização foi aplicado aos resultados destas entrevistas (DE ALMEIDA, 2013), de modo que a Tabela 8 relaciona os pesos normalizados de acordo com os critérios construídos anteriormente.

Tabela 8 – 2ª aplicação: Relação de critérios e respectivos pesos do problema

	Cr₁	Cr₂	Cr₃	Cr₄	Cr₅	Cr₆
Peso normalizado	0,0571	0,2857	0,2286	0,1143	0,1429	0,1714

Fonte: López & De Almeida (2014)

4.2.2 Resultados da aplicação e análise de desempenho

Na etapa 9, o estudo de caso foi aplicado com auxílio do SAD “*MCDM/A Portfolio Analysis with c-optimal portfolio concept for PROMETHEE web-based, code PU-PXCNG-WTI*”.

Como output, o modelo gerou, além de uma solução p-ótima, P37, outras duas soluções alternativas ou c-ótimas, C38 e C39, como é possível observar na Tabela 9. Para cada projeto estratégico, o valor 1 (realçado em verde) significa que ele foi selecionado, ao passo que o valor 0 (realçado em vermelho) indica a sua rejeição.

Tabela 9 – 2ª aplicação: Portfólios c-ótimos como resultados da modelagem multicritério

Portfólio	P37	C38	C39	Portfólio	P37	C38	C39
AM01	0	1	1	SC04	1	1	1
AM02	1	1	1	SC05	0	0	0
AM03	0	0	0	SC06	1	1	1
AM04	1	1	1	SC07	1	1	1
AM05	1	1	0	SC08	0	0	0
AM06	1	1	1	SC09	0	0	1
AM07	0	0	0	SC10	0	0	0
AM08	0	0	0	SC11	1	1	1
AM09	0	0	0	SC12	0	0	0
AM10	0	0	0	SC13	1	1	1
AM11	0	0	1	SC14	0	0	0
AM12	1	1	1	NC01	0	0	1
AM13	0	0	0	NC02	0	0	0
AM14	0	0	0	NC03	0	0	0
AM15	0	0	0	NC04	1	1	1
AM16	0	0	0	NC05	1	1	1
AM17	0	0	1	NC06	0	0	0
RR01	0	0	0	NC07	1	1	1
RR02	0	0	0	NC08	1	1	1
RR03	1	1	1	NC09	1	1	1
RR04	0	0	0	NC10	1	1	1
RR05	0	0	0	NC11	0	0	0
RR06	0	0	0	NC12	0	0	0
RR07	0	1	0	NC13	0	0	0
RR08	0	0	0	NC14	1	1	1
RR09	0	0	0	NC15	1	1	1
RR10	1	1	1	NC16	1	1	0
RR11	1	0	0	NC17	1	1	1
RR12	1	0	0	NC18	1	1	1
RR13	1	1	1	NC19	0	0	0
RR14	0	0	0	NC20	1	1	1
RR15	1	1	1	NC21	1	1	1
RR16	0	0	1	NC22	0	0	0
RR17	0	0	0	NC23	0	0	0
RR18	0	1	1	NC24	0	0	0
RR19	1	1	1	NC25	0	0	0
RR20	1	1	1	NC26	0	0	0
RR21	1	1	1	NC27	1	1	1
RR22	1	1	1	NC28	0	0	0
RR23	1	1	1	NC29	0	0	0
SC01	1	1	1	Total de projetos selecionados (classe do portfólio)	37	38	39
SC02	1	1	0				
SC03	0	0	0				

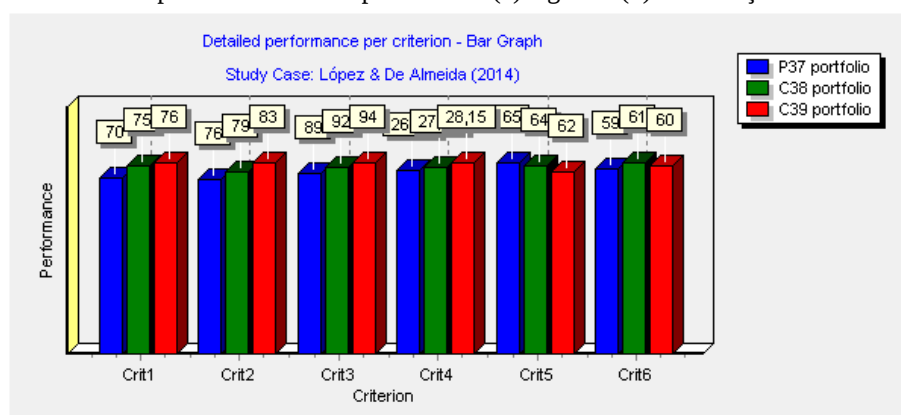
Fonte: O Autor

O estudo de caso 2, que trata da seleção de projetos estratégicos no ambiente empresarial de um grupo do setor elétrico brasileiro, teve como resultados 3 portfólios: P37, C38 e C39, com, respectivamente, 37, 38 e 39 projetos selecionados.

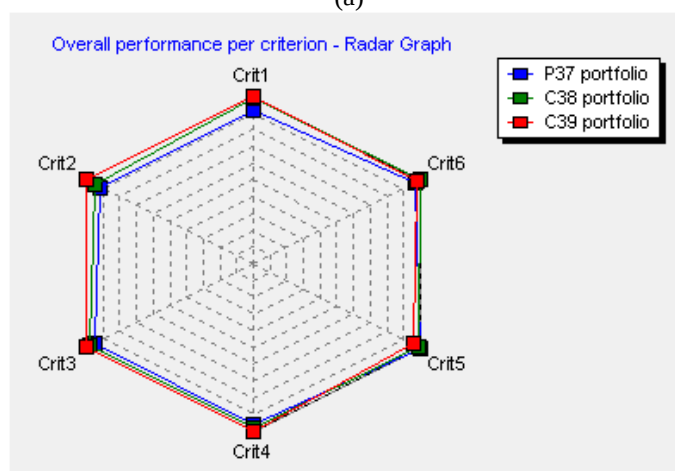
Os desempenhos dos portfólios, por critério, podem ser verificados na Figura 11-a. O gráfico de radar da Figura 11-b permite uma visualização simultânea das performances globais das soluções de modo que, quanto mais próximo do vértice, melhor é o desempenho observado naquela dimensão.

Nesse contexto, é importante entender que os julgamentos verbais feitos pelo decisor foram convertidos para uma escala numérica a fim de manipulá-los algebricamente. Os resultados revelados na Figura 11-a buscam agregar, portanto, as avaliações das consequências e cuja análise comparativa deve ser feita de acordo com a direção de preferência do critério (minimização ou maximização).

Figura 11 - Gráficos comparativos de desempenho local (a) e global (b) das soluções ótimas da 2ª aplicação



(a)



(b)

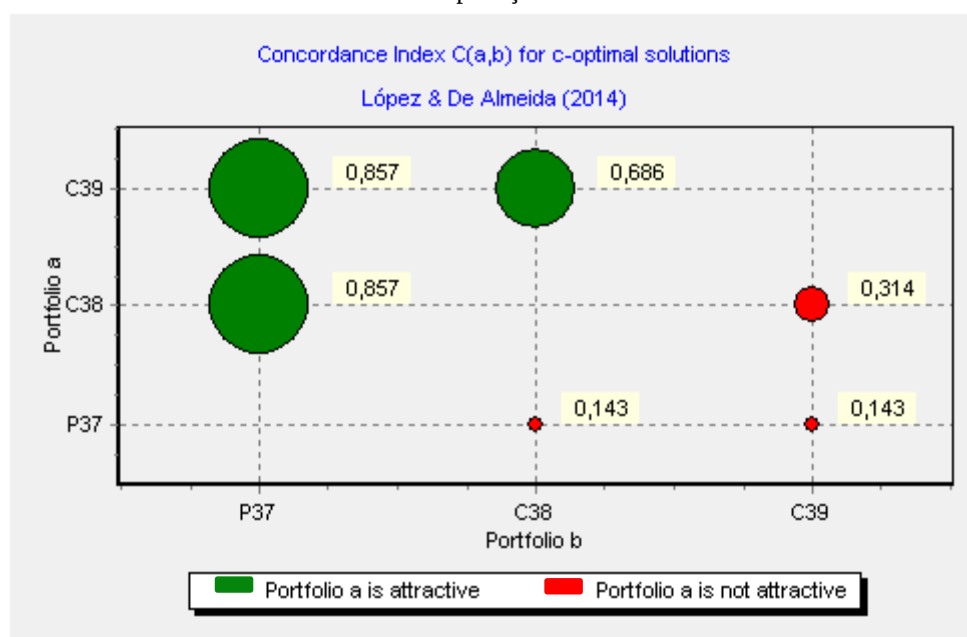
Fonte: O Autor

Os dados expostos acima permitem que algumas evidências sejam pontuadas, a saber:

- O portfólio p-ótimo P37, embora no quesito Contribuição a Satisfação dos Clientes (Crit5) seja superior às soluções C38 e C39, tem seu desempenho superado por todos os outros critérios.
- Em relação à solução tradicional, o portfólio c-ótimo C38 substitui os projetos RR11 e RR12 em prol da seleção de AM01, RR07 e RR18. Apesar de requerer 800 homens-hora a mais de recursos humanos, o portfólio c-ótimo em questão respeita as restrições do grupo e inclusive com ligeira economia (cerca de R\$ 2.200,00) no aporte financeiro para execução. Na maioria dos critérios, C38 apresenta uma contribuição notável ao desempenho do portfólio, com especial destaque ao critério de Melhoria dos Indicadores Regulados (Crit6);
- Já o portfólio c-ótimo C39 se apresenta como solução mais relevante para 4 critérios do problema: Complexidade (Crit1), Impacto no Resultado (Crit2), Alinhamento Estratégico (Crit3) e Probabilidade de Sucesso (Crit4). Em relação à solução clássica, ela foi encontrada com a saída dos projetos AM05, RR11, RR12, SC02 e NC16 em prol da entrada de AM01, AM11, AM17, RR16, RR18, SC09 e NC01. Tais substituições implicaram o incremento significativo de desempenho em todos os critérios, com a exceção do quesito Contribuição para a Satisfação dos Clientes. Semelhante ao observado na consideração anterior, o aporte financeiro necessário para executar este portfólio é ligeiramente menor (aproximadamente R\$ 2.600,00) com maior recurso humano alocado para tal.

Desse modo, expostas as principais afirmações evidenciadas acima, a Figura 12 apresenta a comparação par a par dos índices de concordância dos portfólios ótimos, como medida da coalizão de critérios que os favorece. A compreensão desses resultados é de essencial importância para conduzir a recomendação ao grupo do setor elétrico.

Figura 12 - Gráfico de bolhas relativos aos índices de concordância entre pares de soluções ótimas da 2ª aplicação



Fonte: O Autor

A escolha do melhor portfólio a ser recomendado se baseia, portanto, no maior valor do índice calculado comparando as soluções existentes. Sendo assim, ambas as soluções alternativas geradas após aplicação do modelo são suficientemente preferíveis à solução clássica, uma vez que $C_{C38, P37}$ e $C_{C39, P37}$ são iguais a 0,857 (coalizam 85,7% dos pesos em prol dos portfólios c-ótimos).

Como C38 e C39 são candidatos à recomendação ao decisor, o critério de desempate se dará na comparação explícita entre eles. Desse modo, C39 é superior ou ao menos igual (em termos de desempenho) a C38 em 0,686 dos pesos, configurando que a recomendação mais adequada a organização deve ser, de fato, a implementação do portfólio de projetos estratégicos C39.

Ademais, a Tabela 10 indica um aspecto curioso que pode ser constatado em problemas desse contexto. Dentre as soluções possíveis, a recomendada é aquela cujo recurso financeiro alocado para sua implementação é o menor, ao passo que exige a segunda menor quantidade de recursos humanos a serem alocados para realização das tarefas. De todo modo, é necessário esclarecer que não é objetivo do modelo proposto obter uma solução que apresente, simultaneamente, melhores desempenhos e menores recursos alocáveis. A sua preocupação, portanto, se dá na obediência às restrições do ambiente organizacional ao problema em questão.

Tabela 10 - Resumo dos recursos humanos e financeiros alocados a cada portfólio da 2ª aplicação

Portfólio	Recursos humanos (homens-hora)					Recurso financeiro
	AM	RR	SC	NC	Total	
P37	3120	5040	1760	6880	16800	R\$ 8.923.800,00
C38	3760	5200	1760	6880	17600	R\$ 8.921.600,00
C39	3520	5520	1440	6880	17360	R\$ 8.921.200,00

Fonte: O Autor

4.2.3 Análise de Sensibilidade

O estudo feito na etapa 10 visa analisar o impacto provocado na saída do modelo por variações na entrada deste. Considerando que a fase de avaliação das consequências, em escala verbal, foi feita de maneira consolidada e assistida por especialistas e analistas do processo decisório, admitiu-se apenas uma avaliação isolada da sensibilidade dos pesos dos critérios. Para este problema, a dificuldade da organização em traduzir a importância dos critérios em termos numéricos motiva analisar a sensibilidade destes parâmetros.

Para o problema, o decisor utilizou escala verbal para julgamento das consequências, o que conferiu certo conforto durante o processo, reduzindo a sensação de imprecisão. Entretanto, a dificuldade em estabelecer a relação de pesos para definição da importância entre os critérios motiva a necessidade em analisar o impacto da variabilidade dos pesos atribuídos nas soluções ótimas.

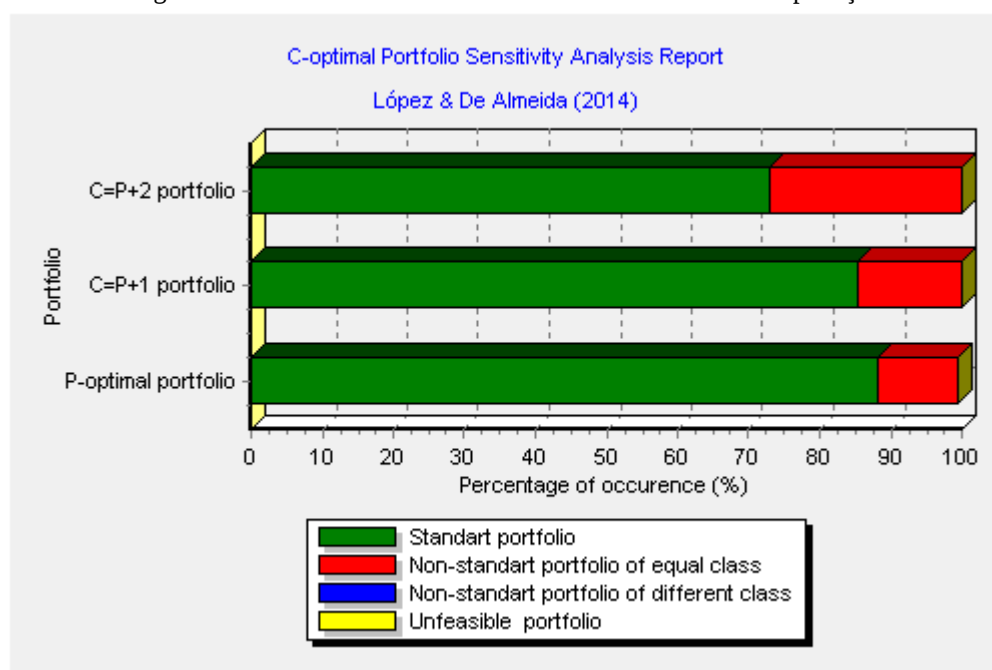
Dessa maneira, após simulação de 100.000 instâncias, com aplicação do modelo PROMETHEE V c-ótimo, os resultados obtidos se dispõem conforme esquematizado na Tabela 11 e Figura 13. Os pesos variaram numa faixa de $\pm 10\%$ numa distribuição linear de probabilidade.

Tabela 11 - Relatório de análise de sensibilidade da 2ª aplicação

Portfólio		P (P37)	C=P+1 (C38)	C=P+2 (C39)
Portfólio padrão	Frequência	88214	85396	73015
	Proporção	88,21%	85,40%	73,01%
Portfólio não-padrão (mesma classe)	Frequência	11786	14604	26985
	Proporção	11,79%	14,60%	26,99%
Portfólio não-padrão (classe diferente)	Frequência	0	0	0
	Proporção	0%	0%	0%
Portfólio inviável	Frequência	0	0	0
	Proporção	0%	0%	0%
Total de simulações		100000	100000	100000

Fonte: O Autor

Figura 13 - Gráfico-resumo da análise de sensibilidade da 2ª aplicação



Fonte: O Autor

Considerando a existência de uma solução clássica (P) e duas soluções alternativas encontradas na resolução da 2ª aplicação (C=P+1 e C=P+2), para cada caso foi analisado o comportamento dos resultados. A partir daí, algumas considerações podem ser realizadas:

- De todas as simulações, como primeira solução (P) foi registrada a repetição na proporção de 88,21% do portfólio p-ótimo P37. Para os casos remanescentes (11,79%), foram encontrados 3 portfólios diferentes, porém de mesma classe que P37.
- Quanto a primeira solução alternativa (C=P+1), o portfólio C38 foi encontrado em 85,4% das simulações, ao passo 14,6% geraram 5 portfólios diferentes de mesma classe que C38;
- Quanto a uma segunda solução c-ótima (C=P+2), a incidência do portfólio C39 foi de 73,01%, com geração de 6 portfólios diferentes de mesma classe em quase 27% dos casos;
- Não houve incidência de portfólios não-padrão de classe diferente das analisadas, nem inviabilidade de soluções.

Pode-se afirmar, portanto, que o problema apresenta uma forte robustez quanto à variação dos pesos para resolução do problema de decisão, uma vez que o impacto observado com esta variação não gerou alterações substanciais na seleção dos portfólios.

Etapas 11 e 12 – Recomendação ao decisor e implementar decisão

Um relatório de recomendação ao decisor é produto da análise coerente dos resultados das etapas 9 e 10, com a clara intenção de oferecer a melhor solução de compromisso que atenda aos objetivos do grupo. Quanto ao cenário de implementação do portfólio de estratégias ao ambiente corporativo, cabe avaliar aprovação final pelos membros diretores da organização, bem como seus desafios para execução, a citar: exigências de fiscalização, atendimento às normas reguladoras do setor, adequação das instalações físicas às medidas de atuação, treinamento de pessoal, entre outras questões.

4.3 DISCUSSÃO DO MODELO E SUA CONTRIBUIÇÃO

Após estruturação, resolução e análise detalhada dos problemas multicritério apresentados nas seções 4.1 e 4.2, é possível tecer alguns comentários a cerca do modelo proposto.

No tocante ao ambiente corporativo, é compreensível que o medo do desconhecido, bem como a incerteza de sucesso e conflitos com experiências mal sucedidas no passado gerem certa resistência na utilização de novos modelos de seleção de portfólio de projetos pelos gestores organizacionais. Para vencer esta barreira, um modelo buscou como premissa básica adotar um grau de simplicidade na sua formulação de modo que o mesmo seja compreendido facilmente pelos interessados. Desse modo, o modelo foi aplicado aos estudos de caso com grande capacidade de entendimento e aplicação prática, bem como apresenta resultados simples e objetivos que dão segurança aos decisores quando estes forem implementar a decisão escolhida. Nesse sentido, é factível que uma futura aplicação real do modelo proposto no meio gerencial do setor elétrico não seja encarada como algo complexo a ponto de não ser utilizado ou cair em desuso rapidamente.

Ademais, restrições de tempo na tomada de decisão são comuns em ambientes organizacionais, sejam por influências internas e/ ou externas à organização (ORDÓÑEZ, BENSON III & PITTARELLO, 2015). Nesse sentido, a construção de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) constituiu uma grande ferramenta de apoio ao processo decisório que enfrenta este desafio sem que haja prejuízos à credibilidade do modelo aplicado.

A interface amigável permite aos usuários visualizar, passo a passo, o processo de avaliação do melhor *mix* de projetos que atendam ao conjunto de restrições da empresa. Com objetividade na disposição dos resultados, o SAD permite ao usuário analisar de forma prática, porém não menos aprofundada – e com auxílio de recursos gráficos – todas as

soluções ótimas para dar segurança e robustez na recomendação. Desta forma, existe uma potencialidade do modelo em proporcionar aos usuários uma tomada de decisão clara e concisa.

Especialmente no módulo de análise de sensibilidade, cujo processamento de dados é considerável, o SAD apresentou índices de desempenho tais que a pressão de tempo na tomada de decisão não se configura um inconveniente para o decisor aplicar este modelo. Para a primeira aplicação, o SAD requereu 27 minutos para disponibilizar ao usuário o relatório de sensibilidade do problema, ao passo que a segunda aplicação exigiu cerca de 45 minutos para alcançar este objetivo.

Em termos gerais, o SAD apresenta um bom desempenho em seu processamento de modo que esta característica funcional não cause desconforto ao decisor, no tocante a credibilidade da recomendação que o sistema oferece.

Outro aspecto importante da modelagem envolve a possibilidade de incluir múltiplas restrições à análise multidimensional. Em ambas as aplicações feitas, o modelo alinha os esforços de recursos materiais, orçamentários e humanos nos projetos que são considerados importantes para alcançar os objetivos traçados inicialmente. Isso indica que o modelo contribui com a adaptabilidade necessária para construir o problema respeitando todas limitações mensuráveis e de naturezas distintas que porventura ocorram na organização.

Cabe avaliar ainda a presença de benefícios indiretos, bem como desafios importantes para aplicar o modelo de maneira verossímil, isto é, que traduza de fato os interesses da empresa.

Nesse contexto, merece destaque a necessidade de envolvimento de todos os interessados no processo, entre gestores, diretores, executivos, conselheiros, presidentes etc. Isso significa que os atores devem planejar suas atividades de modo a focar naquilo que realmente irá agregar valor à empresa. Logo, é imprescindível que todos conheçam bem o ambiente de decisão em virtude das variáveis envolvidas no modelo, com o objetivo de avaliarem adequadamente os desempenhos dos projetos candidatos, em consonância com as suas preferências.

Sendo assim, o processo de seleção de portfólio de projetos conforme a abordagem proposta contribui ainda para a geração de conhecimento e *expertise* dos decisores, o que certamente minimiza resistências, nivela o conhecimento entre a equipe empresarial e facilita a avaliação e implementação de outros portfólios em outras aplicações do modelo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo tem por objetivo discorrer sobre as principais conclusões advindas deste trabalho, e também apresentar sugestões para possíveis trabalhos futuros na linha do que foi desenvolvido e apresentado nesta tese e que podem dar continuidade às pesquisas nesta área também serão mencionados, no final deste capítulo.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Numa necessidade inerente de se adaptar às demandas atuais, organizações do setor energético buscam sua sustentabilidade por meio de mudanças coordenadas de seus planejamentos estratégicos. Nesse contexto, a gestão de portfólio tem o objetivo de gerenciar projetos das empresas, garantindo que certo conjunto deles seja realizado e alocando para execução dos mesmos os recursos necessários e disponíveis, em respeito às restrições da organização, de ordem financeira, humana e material.

O ambiente corporativo de empresas do setor elétrico utilizam técnicas de seleção de portfólio de projetos para os mais variados fins. Entre projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), demandas da área de tecnologia da informação, projetos estruturais e/ou estratégicos e outras origens, a preocupação gira em torno de atender a diversos objetivos conflitantes com a seleção de um portfólio adequado a essa realidade.

Com isso, a relevância do modelo proposto se constata na agregação das tradicionais teorias de apoio a decisão multicritério com alterações metodológicas a fim de promover uma avaliação mais consistente e de fácil compreensão pelo decisor.

A utilização do método PROMETHEE V foi ressaltada por se configurar adequada a problemática de portfólio, embora a literatura tenha apontado problemas de escala que poderiam atrapalhar sua recomendação. Nesse sentido, o modelo buscou corrigir esses problemas com a inserção do conceito de portfólio c-ótimo ao método PROMETHEE V. Isso permitiu também agregar os benefícios apontados da metodologia tradicional, como a racionalidade não compensatória e seu fácil entendimento na aplicação.

Como produto deste trabalho, foi desenvolvido num ambiente de programação um software de apoio a decisão que segue rigorosamente todos os passos descritos pelo modelo proposto. Para tanto, aspectos de visualização gráfica e disposição do layout do SAD foram premissas para a construção de uma ferramenta que, simultaneamente, seja simples e rica em detalhamento dos resultados para auxílio do decisor, no tocante à escolha do portfólio mais adequado ao seu problema.

A validação do modelo foi feita através da aplicação de dois estudos de caso presentes na literatura. O primeiro trata da gestão de projetos estruturais para expansão das atividades de uma empresa estatal de energia da América Latina. Por meio da avaliação de impacto em indicadores econômicos e sociais, o modelo indicou, além da solução clássica, outros dois portfólios alternativos. A análise comparativa indicou que o portfólio C15 é o mais adequado à recomendação da empresa, uma vez que seu desempenho por critério é mais vantajoso que as demais.

Já a segunda aplicação aborda a seleção de projetos estratégicos de um grupo de empresas com atuação no SEB. Em comparação ao problema anterior, a existência de maior número de projetos, critérios e restrições implica um esforço maior do SAD em chegar às soluções, o que é natural em virtude do algoritmo que foi implementado. Como soluções ótimas, o modelo gerou uma original e duas alternativas (ou c-ótimas). De maneira análoga, a comparação entre as performances dos critérios entre portfólios ótimos levou a indicar a solução C39 como a mais adequada para recomendação.

Vale ressaltar, portanto, que em ambas as aplicações é possível dizer que o modelo proposto oferece vantagens reais ao inserir portfólios alternativos que podem apresentar desempenhos melhores que a solução dada pelo método clássico (com alterações de escala). Embora não seja via de regra, isto marca a grande contribuição dada pelo modelo, uma vez que o resultado recomendado pode vir a ser a própria solução clássica se cujas soluções c-ótimas não a superarem.

As análises de sensibilidade de ambos os casos indicaram de maneira detalhada a robustez das soluções, que não apresentam variação prejudicial às soluções padrão.

É válido ressaltar a busca do modelo por soluções de compromisso, isto é, que busquem selecionar a melhor combinação de projetos que aprimorem os objetivos construídos pelas organizações. O primeiro estudo de caso recomenda o portfólio C15 por demonstrar que melhores índices econômicos e sociais podem ser obtidos com a sua implementação. Em se tratando de uma estatal, cujos interesses da empresa visam também o bem estar público, isso foi decisivo para tal escolha. O mesmo pode ser observado na segunda aplicação, com a percepção de ganhos financeiros e sociais evidenciados pelo portfólio C39.

Ademais, cabe comentar a estruturação dos estudos de caso de acordo com o framework de 12 etapas por De Almeida et al. (2015). O processo iterativo e com refinamentos sucessivos tem um grande potencial, em aplicações reais no contexto elétrico, de geração de aprendizado entre os atores do processo decisório. Isto é valioso no sentido de conceber os

objetivos, critérios, alternativas, pesos e restrições de maneira consolidada e cujo resultado seja o mais verossímil possível à realidade corporativa, com vistas à sustentabilidade da empresa num mercado cada vez mais competitivo.

Por fim, o modelo apresenta um potencial de benefícios na aplicação do conceito de portfólio c-ótimo ao método PROMETHEE V para alocação de recursos e, apesar de abordado neste trabalho no contexto de uma organização do setor elétrico, ele pode ser aplicado em diversos contextos – a exemplo da Construção Civil (Da Silva, De Almeida e Almeida, 2015) e da gestão de obras públicas (Da Silva, Palha e De Almeida, 2017) –, isto é, sua aplicabilidade está condicionada apenas a adequação do problema aos pressupostos básicos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de aperfeiçoar o presente estudo, é necessário o desenvolvimento de novos trabalhos para ampliar a abordagem do problema de decisão no contexto elétrico de modo a considerar a disponibilidade dos projetos em níveis técnicos e operacionais. Desse modo, compreender de forma profunda a complexidade gerencial do setor e traduzir de forma quantitativa os impactos de projetos nesse ambiente é de fundamental importância para diminuir a imprecisão das avaliações das consequências e dos pesos atribuídos aos critérios do problema.

Além disso, outras sugestões podem ser apresentadas como extensão do modelo proposto:

- Adaptação da metodologia com o intuito de considerar possíveis sinergias entre os projetos do espaço de ações considerado;
- Estabelecimento de procedimentos adequados quando houver um caráter probabilístico inerente ao problema. No setor elétrico, a execução de projetos pode estar sujeita a atividades de risco no ambiente de trabalho, fato este que alerta para as presenças de eventuais estados da natureza. Elas devem ser o ponto de partida para incorporar a incerteza na avaliação dos projetos.
- Ampliação do modelo proposto para o contexto de decisão em grupo. O grande porte das organizações do setor elétrico confere a necessidade de aglomerar o poder de decisão nas mãos de um grupo pertencente a um alto escalão ou conselho diretor, com o objetivo de unir a diversidade de pontos de vista e de experiências em prol do aprimoramento das técnicas de gestão das empresas.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Dados sobre geração elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 27 fev. 2018.

ARAGONÉS-BELTRÁN, P.; CHAPARRO-GONZÁLEZ, F.; PASTOR-FERRANDO, J. P.; PLA-RUBIO, A. An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects. **Energy**, v. 66, p. 222–238, 2014.

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

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. Promethee V: Mcdm Problems With Segmentation Constraints. **INFOR: Information Systems and Operational Research**, v. 30, n. 2, p. 85–96, 1992.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228–238, 1986.

BRASIL. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004**. Marco Regulatório do Setor Elétrico. Brasília: MME, 2004. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm. Acesso em 27 fev 2018.

CLEGG, S.; KILLEN, C. P.; BIESENTHAL, C.; SANKARAN, S. Practices, projects and portfolios: Current research trends and new directions. **International Journal of Project Management**, v. 36, n. 5, p. 762–772, 2018.

COSTANTINO, F.; DI GRAVIO, G.; NONINO, F. Project selection in project portfolio management: An artificial neural network model based on critical success factors. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 8, p. 1744–1754, 2015.

CUCCHIELLA, F.; GASTALDI, M.; TROSINI, M. Investments and cleaner energy production: A portfolio analysis in the Italian electricity market. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 121–132, 2017.

DA SILVA, C. G.; MEIDANIS, J.; MOURA, A. V.; SOUZA, M. A.; VIADANNA, P.; DE OLIVEIRA, M. R.; DE OLIVEIRA, M. R. JARDIM, L. H. COSTA LIMA, G. A.; DE BARROS, R. S.V. An improved visualization-based approach for project portfolio selection. **Computers in Human Behavior**, v. 73, p. 685–696, 2017.

DA SILVA, L. B. L.; DE ALMEIDA, A. T. ; ALMEIDA, J. A. Uso do conceito c-optimal para seleção de portfolio de projetos na construção civil com base no método multicritério PROMETHEE V. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2015, Porto de Galinhas. **Anais [...]**. Porto de Galinhas: SOBRAPO, 2015. v. 1. p. 560-570.

DA SILVA, L. B. L.; PALHA, R. P.; ALENCAR, M. H.; DE ALMEIDA, A. T. A

multidimensional risk evaluation framework for managing floods in urban areas. (S. Haugen et al., Eds.) *Safety and Reliability: Safe Societies in a Changing World* In: EUROPEAN SAFETY AND RELIABILITY CONFERENCE, 2018, Trondheim. **Anais [...]**. London: CRC Press, 2018

DA SILVA, L. B. L.; PALHA, R. P. ; DE ALMEIDA, A. T. Portfólio C-ótimo na priorização de projetos em obras públicas: um estudo de caso no governo de Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2017, Blumenau. **Anais [...]**. Blumenau: SOBRAPO, 2017. v. 1.

DE ALMEIDA, A. T. **Processo de Decisão nas Organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V. **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. 1ª ed. Cham: Springer International Publishing, 2015. v. 231

DE ALMEIDA, A. T.; RAMOS, F. DE S. **Gestão da Informação na competitividade das organizações**. 2ª ed. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2002.

DE ALMEIDA, A. T.; ROSELLI, L. R. P. Visualization for Decision Support in FITradeoff Method: Exploring Its Evaluation with Cognitive Neuroscience. **Lecture Notes in Business Information Processing**, 282, Springer International Publishing, 2017, v. , p. 61-73.

DE ALMEIDA, A. T.; VETSCHERA, R. A note on scale transformations in the PROMETHEE v method. **European Journal of Operational Research**, v. 219, n. 1, p. 198–200, 2012.

DE OLIVEIRA LACERDA, R. T.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. A performance measurement framework in portfolio management: A constructivist case. **Management Decision**, v. 49, n. 4, p. 648–668, 2011.

ESSID, H.; GANOUEATI, J.; VIGEANT, S. A mean-maverick game cross-efficiency approach to portfolio selection: An application to Paris stock exchange. **Expert Systems with Applications**, v. 113, p. 161–185, 2018.

FERREIRA, L.; BORENSTEIN, D.; RIGHI, M. B.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A fuzzy hybrid integrated framework for portfolio optimization in private banking. **Expert Systems with Applications**, v. 92, p. 350–362, 2018.

FISHBURN, P. C. Noncompensatory preferences. **Synthese**, v. 33, n. 1, p. 393–403, 1976.

FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Water distribution network segmentation based on group multi-criteria decision approach. **Producao**, v. 27, p. 1–13, 2017.

GARCÍA-MELÓN, M.; POVEDA-BAUTISTA, R.; DEL VALLE M., J. L. Using the strategic relative alignment index for the selection of portfolio projects application to a public Venezuelan Power Corporation. **International Journal of Production Economics**, v. 170, p.

54–66, 2015.

GONÇALVES, J. F.; MENDES, J. J. M.; RESENDE, M. G. C. A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 3, p. 1171–1190, 2008.

HEISING, W. The integration of ideation and project portfolio management - A key factor for sustainable success. **International Journal of Project Management**, v. 30, n. 5, p. 582–595, 2012.

HERNANDEZ-PERDOMO, E. A.; MUN, J.; ROCCO, C. M. S. Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. **Applied Energy**, v. 195, p. 487–502, 2017.

JAFARZADEH, M.; TAREGHIAN, H. R.; RAHBARNIA, F.; GHANBARI, R. Optimal selection of project portfolios using reinvestment strategy within a flexible time horizon. **European Journal of Operational Research**, v. 243, n. 2, p. 658–664, 2015.

KAISER, M. G.; EL ARBI, F.; AHLEMANN, F. Successful project portfolio management beyond project selection techniques: Understanding the role of structural alignment. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 1, p. 126–139, 2015.

KARASAKAL, E.; AKER, P. A multicriteria sorting approach based on data envelopment analysis for R&D project selection problem. **Omega** (United Kingdom), v. 73, p. 79–92, 2017.

KERZNER, H. **Using the project management maturity model: strategic planning for project management**. 2^a ed. USA: John Wiley & Sons, 2001.

KLEINMUNTZ, D. N. Resource Allocation Decisions. In: EDWARDS, W.; JR., R. F. M.; WINTERFELDT, D. VON (Eds.). **Advances in decision analysis: from foundations to applications**. 1^a ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KOKSALAN, M.; WALLENIUS, J.; ZIONTS, S. **Multiple criteria decision making: From early history to the 21st century**. Singapore: World Scientific Publishing, 2011.

KYLILI, A.; CHRISTOFOROU, E.; FOKAIDES, P. A; POLYCARPOU, P. Multicriteria analysis for the selection of the most appropriate energy crops: the case of Cyprus. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 35, n. 1, p. 47–58, 2016.

LARSON, C. F.; GRAY, E. W. **Project management: the managerial process**. 7^a ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

LÓPEZ, H. M. L.; DE ALMEIDA, A. T. Utilizando PROMETHEE V para seleção de portfólio de projetos de uma empresa de energia elétrica. **Production**, v. 24, n. 3, p. 559–571, 2014.

MARTINS, C. L.; LÓPEZ, H. M. L.; DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A.; DE OLIVEIRA BORTOLUZZI, M. B. An MCDM project portfolio web-based DSS for

sustainable strategic decision making in an electricity company. **Industrial Management and Data Systems**, v. 117, n. 7, 2017.

MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0-1 programming. **European Journal of Operational Research**, v. 171, n. 1, p. 296–308, 2006.

MEDEIROS, C. P. P.; ALENCAR, M. H. H.; DE ALMEIDA, A. T. A. T. Multidimensional risk evaluation of natural gas pipelines based on a multicriteria decision model using visualization tools and statistical tests for global sensitivity analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 165, n. March, p. 268–276, 2017.

MEIFORT, A. K. Innovation Portfolio Management: A Synthesis and Research Agenda. **Ssrn**, v. 25, n. 2, p. 251–269, 2016.

MILES JR., R. F. The Emergence of Decision Analysis. In: EDWARDS, W.; JR., R. F. M.; WINTERFELDT, D. VON (Eds.). **Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications**. 1^a ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

MINIOTAITE, R. Multicriteria Analysis of Assembling Buildings from Steel Frame Structures. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, n. 2, 2017.

MORAES, R. DE O.; LAURINDO, F. J. B. Um estudo de caso de gestão de portfolio de projetos de tecnologia da informação. **Gestão & Produção**, v. 10, n. 3, p. 311–328, 2003.

ORDÓÑEZ, L.; BENSON III, L.; PITTARELLO, A. **Time Pressure Perception and Decision Making**. In: KEREN, G.; WU, G. (Eds.). John Wiley & Sons, Ltd., 2015.

PDVSA, P. DE V. S. Estado Financiero Consolidado. Caracas: PDVSA, 2016.

PENDARAKI, K.; SPANOUDAKIS, N. Portfolio performance and risk-based assessment of the PORTRAIT tool. **Operational Research**, v. 15, n. 3, p. 359–378, 2015.

PRESSMAN, R. S. **Software Engineering. A Practitioner's Approach**. 7th. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **The Standard for Portfolio Management**. 4^a ed. USA: PMI Inc., 2017a.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)**. 6^a ed. USA: PMI Inc., 2017b.

RICHARD, A. S.; EUGENE, D. C. **Understanding the Global Energy Crisis**: West Lafayette, IN: Purdue University Press, 2014.

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. **Operational Research**, 2019. DOI: 10.1007/s12351-018-00445-1.

ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Neuroscience Experiment for Graphical Visualization in the FITradeoff Decision Support System. **Lecture Notes in Business Information Processing**. 315ed.: Springer International Publishing, 2018, v. LNBIP, p. 56–69.

SALO, A.; KEISLER, J.; MORTON, A. (EDS.). **Portfolio Decision Analysis: Improved Methods for Resource Allocation**. 1^a ed. New York: Springer, 2011. v. 162

SMITH-PERERA, A.; GARCÍA-MELÓN, M.; POVEDA-BAUTISTA, R.; PASTOR-FERRANDO, J. P. A Project Strategic Index proposal for portfolio selection in electrical company based on the Analytic Network Process. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 6, p. 1569–1579, 2010.

VETSCHERA, R.; DE ALMEIDA, A. T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. **Computers and Operations Research**, v. 39, n. 5, p. 1010–1020, 2012.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. D. F. M.; SILVA, A. N. R. D.; NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 183–199, 2005.