

MARCELO REZNICEK SANTOS

SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE OBRAS EM UMA REDE BRASILEIRA DE AGÊNCIAS
BANCÁRIA

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção.

São Paulo
2018

MARCELO REZNICEK SANTOS

SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE OBRAS EM UMA REDE BRASILEIRA DE AGÊNCIAS
BANCÁRIA

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção.

Orientadora:

Prof^ª. Dr. Débora Pretti Ronconi

SÃO PAULO – SP

2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ricardo e Silvia, e às minhas irmãs Kika e Mari, que sempre me apoiaram e que me proporcionaram as melhores condições para que eu chegasse onde estou. Sem eles, nada disso seria possível.

Aos meus companheiros da Visagio, que me proporcionam diariamente oportunidades de desenvolvimento pessoal e profissional, principalmente a Thomaz e Igor, meu mentor.

À professora Doutora Débora Pretti Ronconi, pela paciência e compressão, além dos momentos de discussões descontraídas.

Ao colega e amigo da Escola Politécnica Lucas Klegen, que me auxiliou durante a formação.

Ao meu professor de música Fernando Alge, formado em engenharia civil, pelos momentos necessários de descontração e inspiração proporcionados. E, por fim, a John Mayer, pela constante inspiração musical, profissional e pessoal.

“There are so many inspiring people out there.”

John Mayer

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo selecionar as melhores agências bancárias para sofrerem uma renovação dentro de uma rede de agências brasileiras. A escolha das agências e seu escopo de renovações são definidas pelos seguintes fatores: (i) importância da agência para a marca do banco; (ii) necessidade das agências de serem renovadas; (iii) orçamento total disponível para renovação; (iv) capacidade dos times internos de executarem as renovações. Cada item, passível de ser selecionado para uma renovação, possui uma necessidade individual de renovação, potencializada pela relevância da agência a qual ele pertence. Da mesma forma cada item possui um custo associado à sua renovação. Com o objetivo de definir quais eram as demandas de mais importância para a organização foi construído um método de seleção cuja função resultado era a importância total dos itens selecionados, respeitando os limites de recursos estabelecidos. Para o desenvolvimento de um método de resolução de rápida execução e bons resultados, foram utilizados modelos de programação linear inteira mista em conjunto com métodos heurísticos. Para a resolução dos modelos foi utilizado o *software What's Best*, extensão do *Microsoft EXCEL*. A utilização efetiva desta solução pode auxiliar para que a área de infraestrutura tome decisões fundamentadas em dados e indicadores, além de testar cenários e possibilidades na utilização de seus recursos.

Palavras-chave: Problema de seleção. Pesquisa Operacional. Programação linear inteira mista. Problema da mochila. Heurística de compartimentação.

ABSTRACT

This research had the objective to select the best possible infrastructural renovation among the available bank branches. The selection process of the branches and extent of the renovation is mainly defined by: (i) the importance of the branch for the companies brand and name; (ii) the necessity of the renovation for each of the branches; (iii) the total available budget; (iv) available capacity of the execution teams. The developed solution method aims to maximize the importance of each item available for renewal while respecting the available budget. The developed resolution method aims to maximize the objective function while maintaining an acceptable processing time. In order to solve this problem, a mathematical model of mixed integer linear programming was used with the conjunction with heuristical methods. The multiple iterations of the model were solved using the *software What's Best*, an extension of *Microsoft EXCEL*. With the correct use of the developed solution, the company can make a data-driven decision of the branches that are well suited to have their infrastructure renewed.

Key words: Operations research. Mixed integer linear programming. Knapsack Problem. Heuristics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Despesas em publicidade e segurança (milhões de R\$).....	18
Figura 2 - Evolução do número de agências para os maiores bancos brasileiros.....	20
Figura 3 - Distribuição geográfica de agências bancárias no Brasil	22
Figura 4 – Método de priorização de agências atual	26
Figura 5 – Alocação de pautas a agências.....	27
Figure 6 – Método da “super agências”	74
Figura 7 – Heurística de “super agências”	79

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1- Serviços básicos para pessoa física (PF).....	14
Tabela 2 – Despesas em telecomunicações e tratamento de dados (milhões de R\$)	15
Tabela 3 - Gastos de bancos com publicidade e propaganda (milhões de R\$)	17
Tabela 4 - Gastos de bancos com segurança e vigilância (milhões de R\$)	17
Tabela 5 - Tabela de itens	23
Tabela 6 – Exemplo de pautas.....	24
Tabela 7 - Exemplo de orçamento.....	25
Tabela 8 - Exemplo do método orçamentário	26
Tabela 9 – Cenário base – Parâmetros associadas aos itens.....	56
Tabela 10 – Cenário base – Parâmetros associados às agências	56
Tabela 11 – Cenário base – Parâmetros gerais.....	57
Tabela 12 – Cenário base – Resultados gerais	58
Tabela 13 – Cenário base – Avaliação de recursos	58
Tabela 14 – Cenário base – Resultado da função objetivo.....	59
Tabela 15 – Cenário 1 – Parâmetros de demandas setoriais	60
Tabela 16 – Cenário 1 – Resultados gerais	60
Tabela 17 – Cenário 1 – Resultado da função objetivo.....	60
Tabela 18 – Cenário 1 – Ganho para a função objetivo	61
Tabela 19 – Cenário 2 – Parâmetros – Custos de capacidade extra	61
Tabela 20 – Cenário 2 – Resultados gerais	62
Tabela 21 – Cenário 2 – Avaliação de capacidade.....	62
Tabela 22 – Cenário 2 – Resultado da função objetivo.....	63
Tabela 23 – Tempos de execução do modelo PLIM	65
Tabela 24 – <i>fix-and-optimize</i> – Exemplo (Passo 1).....	71
Tabela 25 – <i>fix-and-optimize</i> – Exemplo (Passo 2).....	71
Tabela 26 – <i>fix-and-optimize</i> – Exemplo (Passo 3).....	72
Tabela 27 – <i>fix-and-optimize</i> – Exemplo (Passo 1’)	72
Tabela 28 – Passo a passo – Heurística construída	76
Tabela 29 – Teste da heurística com 20 agências	78
Tabela 30 – Teste da heurística com 1000 agências	78
Tabela 31 – Teste da heurística com 1000 agências com desvio de 20%	80
Tabela 32 – Teste da heurística com 1000 agências com desvio de 40%	80
Tabela 33 – Exemplo de pautas - Retomado	83

Tabela 34 – Exemplo de resultado real	84
Tabela 35 – Exemplo de itens selecionados	84
Tabela 36 – Exemplo de resultado detalhado.....	85
Tabela 37 – Exemplo de orçamento calculado.....	86
Tabela 38 – Resultados gerais.....	87
Tabela 39 - Comparação de resultados	87
Tabela 40 - Comparação de tempos de processamento.....	88
Tabela 41 - Comparação de utilização do Orçamento	89
Tabela 42 - Comparação do número de agências selecionadas.....	90
Tabela 43 - Comparação de utilização da capacidade interna.....	91
Tabela 44 - Comparação de horas extras contratadas	91
Tabela 45 - Resultados gerais com variação de orçamento.....	92
Tabela 46 - Resultados gerais com alteração de gastos.....	94
Tabela 47 - Resultados gerais com alteração dos custos de contratação.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG – Agência

PLI – Programação Linear Inteira

PLIM – Programação Linear Inteira Mista

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 SETOR E EMPRESA	14
1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA	15
1.3 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO PARA A EMPRESA	18
2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	21
2.1 CONCEITOS E INFORMAÇÕES	21
2.1.1 REDE DE AGÊNCIAS	21
2.1.2 ESCOPO DAS OBRAS: ITENS	23
2.1.3 PRODUTOS DA ÁREA: PAUTAS DE OBRA	24
2.1.4 ORÇAMENTO	25
2.1 MÉTODO DE RESOLUÇÃO ATUAL	26
2.3 PROBLEMAS EVINDENCIADOS	28
2.3.1 PROBLEMAS DE EFICÁCIA	28
2.3.2 PROBLEMAS DE EFICIÊNCIA	30
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
3.1 PESQUISA OPERACIONAL	33
3.2 PROBLEMA DA MOCHILA	35
3.2.1 PROBLEMA BASE	35
3.2.2 MOCHILA COM MÚLTIPLAS RESTRIÇÕES	38
3.2.3 PROBLEMA DA MOCHILA COMPARTIMENTADA	39
4 MODELAGEM MATEMÁTICA	45
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROBLEMA	45
4.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	46
4.3 DETALHAMENTO DO MODELO	51
4.4 EXEMPLOS SIMPLIFICADOS	55

5	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	65
5.1	MOTIVAÇÃO	65
5.2	INTRODUÇÃO À HEURÍSTICA	67
5.2.1	BREVE INTRODUÇÃO A HEURÍSTICAS	68
5.2.2	<i>FIX-AND-OPTIMIZE</i>	70
5.3	ADAPTAÇÃO DA HEURÍSTICA AO PROBLEMA DE AGÊNCIAS	73
5.4	AVALIAÇÃO DA HEURÍSTICA CONSTRUÍDA	76
5.4.1	CENÁRIO DE TESTE	76
5.4.2	ANÁLISE DO DESVIO DA HEURÍSTICA	77
5.4.3	ANÁLISE DE FRAQUEZAS	79
6	ANÁLISE DE RESULTADOS	83
6.1	ANÁLISE DA SOLUÇÃO ATUAL	83
6.2	CÁLCULO DO ORÇAMENTO DISPONÍVEL	85
6.3	AVALIAÇÃO DE RESULTADO	86
6.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	91
7	CONCLUSÃO	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

1. INTRODUÇÃO

O setor bancário investe somas crescentes em tecnologia e digitalização todos os anos. Só em 2017, o valor total investido em tecnologia totalizou 19,5 bilhões de reais (FEBRABAN, 2018). A maior parte deste investimento é destinada ao contato à melhoria e avanços com contato com o cliente, através de reforços da infraestrutura de telecomunicações e *softwares*.

Não podemos ignorar, porém, os investimentos em áreas operacionais, que não são expostas ao cliente final. Sob a percepção dos grandes bancos a análise de dados é um elemento cada vez mais crítico para o negócio, seja para utilização interna, como análise de fraudes cheque, ou externa, como entendimento e segmentação de mercado (INOVA.JOR, 2018).

Neste trabalho abordou-se a análise de dados para a alocação de recursos na execução de renovações e manutenção da infraestrutura em uma rede de agências de um sistema bancário brasileiro. Essa alocação não se restringe apenas à definição de quais agências irão sofrer algum tipo de intervenção, mas também seu escopo.

A empresa estudada é um dos maiores bancos brasileiros com agências instaladas em todos os estados brasileiros. Sua rede de lojas possui de 3 a 4 mil agências, sendo a maior parte delas instaladas nos estados do Sudeste (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, principalmente). Além disso, sua operação abrange o âmbito internacional estendendo sua atuação a continentes como Europa, Ásia e América do Norte. Infelizmente, por razões competitivas a empresa preferiu não ser identificada no trabalho.

Os dados foram obtidos durante um projeto executado por uma empresa terceira na área com o foco em aperfeiçoar todo o processo de planejamento e controle das renovações executadas. A seleção de agências e o escopo de renovações a serem executadas em suas infraestruturas foi considerada parte essencial deste processo. O autor deste trabalho foi responsável pela melhoria do processo de seleção de renovações, enquanto o restante da equipe tratou de outros problemas em paralelo.

1.1 SETOR E EMPRESA

A empresa que recepcionou o trabalho é um dos maiores bancos privados da América Latina. Este banco tem operações na América Latina, América do Norte e Europa e trabalha hoje com múltiplos produtos e serviços que variam desde manutenção de contas-correntes até a oferta de seguros.

Como podemos ver na Tabela 1, são vários os serviços ofertados por instituições bancárias e a taxa de utilização e necessidade de presença física do cliente na agência varia para cada um deles. A utilização do cartão de crédito e débito é feita através de meios de telecomunicação (máquinas de pagamento como as da empresa “Rede” e “Cielo”). Já outros serviços são mais sensíveis à comunicação humana e demandam um atendimento diferenciado, como é o caso da Negociação de dívidas.

Tabela 1- Serviços básicos para pessoa física (PF)

Serviços

Câmbio
Capitalização
Cartão de crédito
Consórcio
Conta-corrente
Créditos e Financiamentos
Investimentos e Previdência
Negociação de dívidas
Seguros
Tarifas

Fonte: Elaboração própria – Website de bancos privados

Da mesma maneira como outros bancos do país, a organização em estudo investe fortemente em inovações e tecnologias com o objetivo de reduzir seus custos e melhorar seus serviços. Essa tendência fica extremamente clara na Tabela 2, quando se avalia as despesas administrativas indicadas nos demonstrativos de resultados dos maiores bancos sob “Telecomunicações” ou “Tratamento de Dados”.

Tabela 2 – Despesas em telecomunicações e tratamento de dados (milhões de R\$)

Instituição	2016	2017
Itaú	2.589	2.523
Bradesco	3.801	3.265
Santader	2.086	2.361
Banco do Brasil	1.934	1.999

Fonte: Demonstrativo de Resultados (DREs) dos 4 bancos

Os valores apresentados na Tabela 2 corroboram com as tendências de digitalização das operações e transações. Na seção seguinte, será abordada mais detalhadamente a questão da digitalização das transações e seus efeitos práticos sobre o trabalho que será realizado.

1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA

O setor bancário é líder no investimento em tecnologia no Brasil (FEBRABAN, 2018). Em um ecossistema empresarial que lhe fornece um fluxo de caixa extremamente saudável, existem várias oportunidades para inovar e se destacar em relação à competição.

Seguindo as tendências globais, os grandes bancos nacionais sempre investiram grandes quantidades de capital em automatizações e na digitalização de suas atividades e transações. As despesas do setor financeiro brasileiro em de 2016 para 2017 sofreram um aumento de 5%, superior à média mundial de 3,6% (FEBRABAN, 2018). Isso pode ser explicado por dois principais fatores. Primeiramente, transações automatizadas são, comparadas às feitas manualmente, muito mais baratas do ponto de vista de seus custos operacionais. Como estamos falando da execução de bilhões de transações sendo executadas de maneira mensal esses investimentos acabam se pagando de maneira relativamente rápida. Além disso, elimina-se a ocorrência de erros humanos na execução de tarefas chave, que geram mais custos associados ao retrabalho.

Um exemplo que ilustra bem as condições descritas anteriormente é o caso de uma transferência bancária, antigamente executada pelos atendentes das agências e hoje pode ser feita pelo próprio cliente em seu telefone celular. A informação sai direto do cliente para o sistema, evitando erros de comunicação que poderiam levar a uma transação indesejada.

Em segundo lugar, diminuição da importância das agências como ponto de venda para os bancos, associadas à implementação de soluções alternativas baseadas em telecomunicações. No período de 2016 até março de 2018 houve uma redução de 7,05% no número total de agências no país (ESTADAO, 2018).

Tudo isso indicaria uma tendência de diminuição do número de pessoas que frequentam agências bancárias. Mesmo assim, a quantia investida em infraestrutura e manutenção das agências continua alta, chegando a quantias na ordem de grandeza de meio bilhão de reais ao ano. A princípio esse fato gera uma grande dúvida sobre os motivos que levam uma empresa investir de maneira tão agressiva contra uma, aparente, tendência de mercado. A explicação pode ser resumida em dois fatores mais preponderantes nesta decisão.

O primeiro argumento a favor deste investimento é o volume de pessoas que ainda vão à agência para executar suas atividades bancárias rotineiras. Como finanças pessoais e segurança econômica são uma grande preocupação da população no Brasil, ainda existem clientes que preferem falar com os atendentes de guichê a utilizar métodos digitais mais sofisticados pelo computador ou celular. Somado a esse grupo existem também aqueles que não cresceram com tecnologia ao seu redor. Este último grupo é representado pela população de idade mais avançada. Por fim, existem ainda algumas situações específicas em que é necessário comparecer às agências independente da vontade do cliente. A entrega de documentos pessoais, assinaturas e validações dos donos das contas ainda precisam ser validadas com a presença física do cliente frente a um caixa ou gerente de agência.

O segundo argumento, possivelmente o mais preponderante entre os dois, é a importância da manutenção estética das agências para a imagem da marca frente às concorrentes, um ponto de extrema relevância no setor bancário.

De maneira geral, a importância da marca para empresas do setor bancário pode ser evidenciada pela avaliação de suas despesas em publicidade, propaganda e patrocínios. Percebe-se isso pelo grande volume de anúncios destas empresas em grande parte dos meios de comunicação, principalmente na televisão. Além disso, os grandes bancos brasileiros (privados ou públicos) têm grande participação como patrocinadores de eventos musicais e eventos esportivos, com nenhuma associação ao banco. Exemplos recentes são o patrocínio do evento “Rock in Rio 2017”, pela empresa Itaú-Unibanco, e “Lollapalooza 2018” pelo Bradesco, além do apoio à

equipe esportivas como a seleção brasileira na copa de 2018 (Itaú-Unibanco) e à equipe de automobilismo da empresa italiano Ferrari na Fórmula 1 (Bradesco).

Todo esse investimento deixa clara a necessidade de se posicionar de maneira mais forte em relação às correntes perante todos os clientes disponíveis no mercado brasileiro. Desta maneira o investimento consegue-se justificar os gastos milionários em infraestrutura e imagem dos bancos.

Para suportar este argumento serão apresentados alguns dados sobre os gastos e publicidade dos maiores bancos brasileiros. A Tabela 3 demonstra a ordem de grandeza deste valor de 2016 a 2017:

Tabela 3 - Gastos de bancos com publicidade e propaganda (milhões de R\$)

Instituição	2016	2017
Itaú	736	770
Bradesco	1124	942
Santader	436	573
Banco do Brasil	362	394

Fonte: Demonstrativo de Resultados (DREs) dos 4 bancos

A importância da publicidade e imagem para estas empresas fica ainda mais evidente quando se compara esses gastos com outras necessidades essenciais da indústria, como, por exemplo, segurança e vigilância.

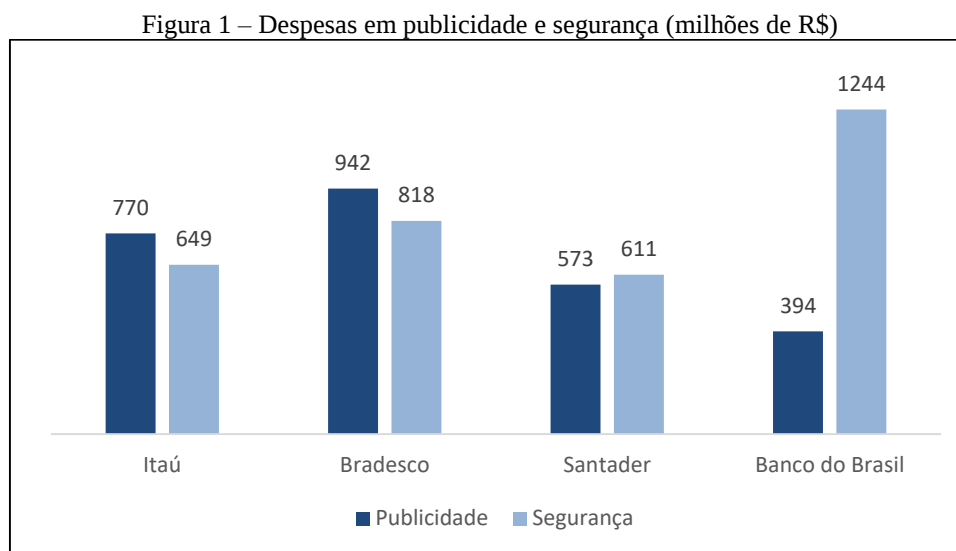
Tabela 4 - Gastos de bancos com segurança e vigilância (milhões de R\$)

Instituição	2016	2017
Itaú	649	649
Bradesco	736	818
Santander	691	611
Banco do Brasil	1237	1244

Fonte: Demonstrativo de Resultados (DREs) dos 4 bancos

Por fim, ressalta-se que, os investimentos em imagens não têm como propósito exclusivo a captação de novos clientes. Pretende-se com esse investimento dar segurança aos clientes já existentes da saúde financeira do banco, isto é, que o valor que seus clientes depositam e

mantêm em suas contas não se encontra em risco. Na Figura 1, podemos comparar lado a lado os investimentos em publicidade e segurança.



Fonte: Demonstrativo de Resultados (DREs) dos Bancos

Desta mesma maneira, as condições de infraestrutura das agências são essenciais, para passar segurança e uma boa imagem para seus clientes.

1.3 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO PARA A EMPRESA

Antes de uma descrição mais detalhada quanto à importância do tema, é importante entender a abrangência de atuação da área estudada. Existe uma clara distinção entre uma manutenção pontual e uma renovação de infraestrutura dentro de uma agência.

A manutenção pontual reflete a atuação localizada em problemas e falhas no dia-a-dia das agências. Inclui-se nesta lista a execução de manutenções preventivas e corretivas em equipamentos como ares-condicionados e caixas automáticos (*ATM – At the Moment*), assim como pontos de infraestrutura que podem ser ajustados ou consertados de maneira rápida (uma pessoa ou duas conseguem adequar a necessidade) e sem grandes dificuldades, como substituir algum carpete ou pintar uma parede isolada. Não consta nesta lista nenhum tipo de atuação com necessidade de planejamento e estudo de impacto prévio. Além disso, estes trabalhos são executados por empresas terceiras especializadas que possuem contrato pré-estabelecido com o banco.

Já o processo de renovação das agências é composto por um volume menor de visitas às agências em comparação com o de processo de manutenção, já que cada uma delas é mais demorada e custosa para a empresa como um todo. Na maioria dos casos passa-se por uma série etapas internas como:

- (1) Realizar vistoria técnica, para avaliar as condições da agência;
- (2) Elaborar um projeto executivo, quando existe necessidade de alterações estruturais;
- (3) Protocolar o pedido de liberação de obras na prefeitura;
- (4) Atualizar do *layout* da agência;
- (5) Orçar e contratar o serviço de uma construtora terceira;
- (6) Fabricar e entregar materiais nas agências;
- (7) Controlar execução da obra, seus resultados e pendências.

Todas estas atividades têm uma duração relativamente alta, variando de uma semana até 3 meses. Em casos extremos, existem atividades isoladas de liberações de obras cuja duração é de mais de um ano, devido a possíveis problemas legais.

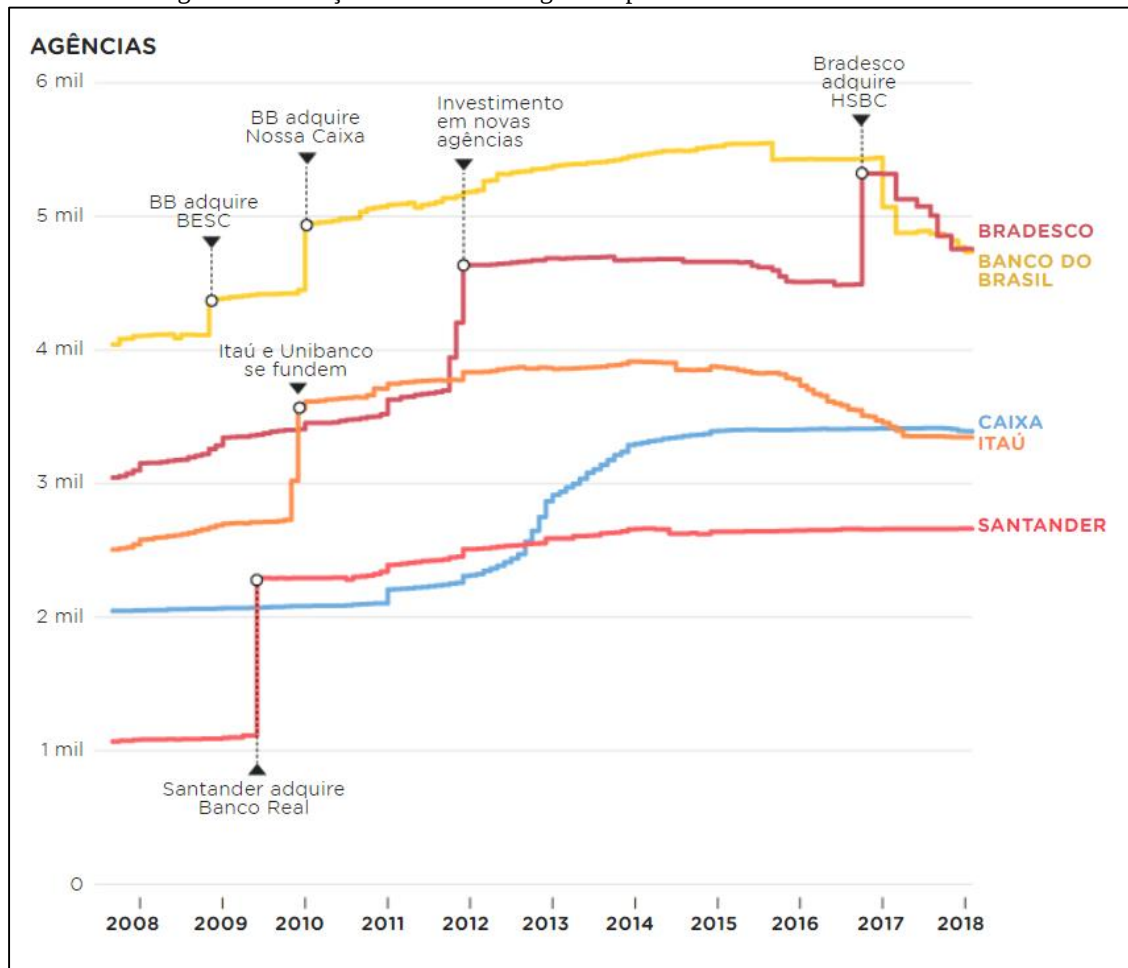
Isso faz com que a execução de uma renovação em uma agência seja extremamente custosa e justifica um foco extra na seleção das agências e escopos corretos, para que se obtenha o máximo proveito dos recursos utilizados na execução da obra.

O trabalho justifica-se por tanto, à medida que propõe uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis à área na execução das renovações. A modelagem e desenvolvimento de uma solução que potencialize o orçamento e capacidade da equipe interna tem traz não só uma melhoria nos resultados, como também uma percepção mais apurada das capacidades das equipes internas e sua carga de trabalho planejada.

Além disso, é importante notarmos o volume de agências e sua distribuição no país. Dada a suas dimensões geográficas, os grandes bancos brasileiros possuem em operação um número extremamente elevado de agências distribuídas pelo país. Isso faz com que o volume de opções, quando se prioriza uma obra em uma agência ou outra, seja extremamente grande. Na Figura 2

pode-se ter uma primeira dimensão do volume de agências que cada uma das 5 maiores empresas bancárias tem em operação em 2018.

Figura 2 - Evolução do número de agências para os maiores bancos brasileiros



Fonte: Jornal Nexo

2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Como ponto de partida do trabalho, será descrito como a seleção e planejamento de obras é feito hoje na área. Para isso, primeiro é necessário entender alguns conceitos utilizados pela área. Em seguida, será descrito o processo de seleção de obras nas agências, assim como dificuldades e problemas associados. Ao final, serão expostos os principais pontos de atenção e melhoria do processo atual.

2.1 CONCEITOS E INFORMAÇÕES

Inicia-se este capítulo com o entendimento do processo que rege o planejamento das obras na empresa. Escolheu-se começar com as entradas (insumos ou entradas) que a área recebe para utilizar sua metodologia, que serão apresentadas a seguir:

2.1.1 REDE DE AGÊNCIAS

O insumo mais essencial no modelo de seleção é, claramente, as agências ativas, já que o objetivo do processo é definir em quais estabelecimentos executar quais obras. Como já foi mostrado na Figura 3 no Capítulo 1, o número de agências é significativamente alto no território brasileiro.

Na Figura 3, podemos compreender a distribuição geográfica das agências dos 5 maiores bancos no país:

Para simplificar o entendimento futuro, e evitar repetições, o fator qualitativo “poder de marca” de uma dada agência será referido como sua “relevância”. A relevância de agências é um parâmetro fornecido por outra área funcional do banco (planejamento comercial) e varia entre os valores 0 a 10, sendo 10 as agências mais críticas para a imagem do banco e 1 as de menor importância.

2.1.2 ESCOPO DAS OBRAS: ITENS

Outro ponto importante a ser compreendido, dentro do contexto do trabalho, é o do escopo das renovações executadas pela área. Por convenção da área, existem dentro das agências os chamados “itens”. A lista de “itens” dentro de uma agência pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de itens	
Índice	Item
1	Logo/ poste
2	Mobiliário
3	Iluminação
4	Modernização de fachada
5	Pintura da fachada
6	Troca de piso
7	Troca de forro
8	Pintura interna
9	Elétrica
10	Hidráulica
11	Cobertura
12	Ar-condicionado
13	Estrutura (civil)
14	Carpete
15	Adequação de acessibilidade
16	Redefinição de <i>layout</i>
17	Comunicação visual interna
18	Modernização Banheiro/ Copa
Fonte: Elaboração própria	

Além dos itens mostrados na Tabela 5, existem também uma lista de demandas a serem executadas na agência, que não necessariamente estão associados à infraestrutura das agências.

Essas demandas são pedidos feitos por áreas parceiras à de infraestrutura (foco do estudo), que centraliza todas as necessidades de atuação nos imóveis, a fim de gerar um ganho de escala, através da execução de múltiplas demandas em uma única visita renovatória. Estes demais “itens”, proveniente de áreas como “segurança” e “automação bancária” são chamados de “**itens setoriais**”.

Destaca-se que custos diretos associados a execução destes itens setoriais não é deduzido do orçamento que será alvo do modelo a ser proposto neste trabalho, mas sim do orçamento das áreas parceiras.

2.1.3 PRODUTOS DA ÁREA: PAUTAS DE OBRA

Podemos considerar uma **Pauta** uma combinação de pontos de atuação (ou itens) que serão ajustados ou reformados. Do ponto de vista do negócio, as pautas são os produtos da área de infraestrutura do banco para a rede de agências (cliente interno).

Hoje existem por volta de 20 pautas diferentes, mas esse número pode variar, pois são criadas e removidas pautas de maneira recorrente todos os anos. Isso ocorre, porque a criação destas pautas está associada às necessidades momentâneas reconhecidas na rede de agência ou eventos associados à marca e regulamentação. Se, por exemplo, entra em vigor uma lei estabelecendo a necessidade de bebedouros em todas as agências bancárias, cria-se uma pauta específica para a introdução de bebedouros em agências. Assim que todas as agências forem alteradas, o produto ofertado torna-se obsoleto. Na Tabela 6 podemos identificar alguns exemplos de pautas observados na área.

Tabela 6 – Exemplo de pautas

Pauta	Estrutura (civil)	Troca de forro	Carpete	Ar-Condicionado	Impermeabilização
Reforma Completa	Sim	Sim	Sim		Sim
Reforma Infra-Estrutura	Sim	Sim	Sim		Sim
Embelezamento			Sim		Sim
Retrofit de Ar-Condicionado				Sim	
Impermeabilização		Sim			Sim

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que as pautas não são mutuamente exclusivas, isto é, existe uma grande intersecção de escopo entre todos os produtos. No Anexo 1 podemos ver isso mais claramente quando comparamos uma “Reforma Completa” com uma “Reforma de Infraestrutura”, grande parte dos itens são iguais.

Isso causa certo problema de adequação dos produtos oferecidos pela área à necessidade real das agências. Muitas vezes os problemas e demandas encontrados dentro de uma agência não se encaixam exatamente dentro de um dos programas. Em alguns casos deixa-se de executar uma determinada necessidade percebida pelo gerente da loja, em outros se executa apenas uma parcial dos itens propostos nas pautas, o que lhes tira qualquer tipo de propósito, já que elas, por definição existem para serem oferecidas como um produto fechado. Este último caso dificulta o processo de orçamento e planejamento de capacidade.

2.1.4 ORÇAMENTO

Por fim, é importante ressaltar a maneira como é estipulado o orçamento para a atuação da área com renovações. Parte-se de uma média histórica associada aos gastos reais de cada uma das pautas. Por exemplo na Tabela 7, para as pautas exemplificadas.

Tabela 7 - Exemplo de orçamento	
Pauta	Valor Médio
Reforma Completa	R\$ 300.000,00
Reforma Infra-Estrutura	R\$ 150.000,00
Embelezamento	R\$ 50.000,00

Fonte: Elaboração própria

A área de infraestrutura, orçamento bancário e comercial chegam então a um acordo sobre o volume de agências que sofrerão cada uma dessas pautas. Os insumos para esses volumes partem quase inteiramente da própria área de infraestrutura, que tem maior contato com o dia-a-dia da rede de agências. A partir das médias e da quantidade de agências que se deseja executar de cada pauta, calcula-se o orçamento total da área.

O problema principal com este método para geração de um orçamento é a falta de avaliação da necessidade do cliente (rede de lojas). Define-se antes o que se deseja executar, para depois tentar alocar esses pacotes às agências. O processo é executado da maneira inversa ao que se

acredita ser o correto, ou seja, o orçamento deve ser fruto da necessidades de renovação e não o inverso.

A Tabela 8 sugere de maneira mais visual um exemplo da estipulação de orçamento para a área:

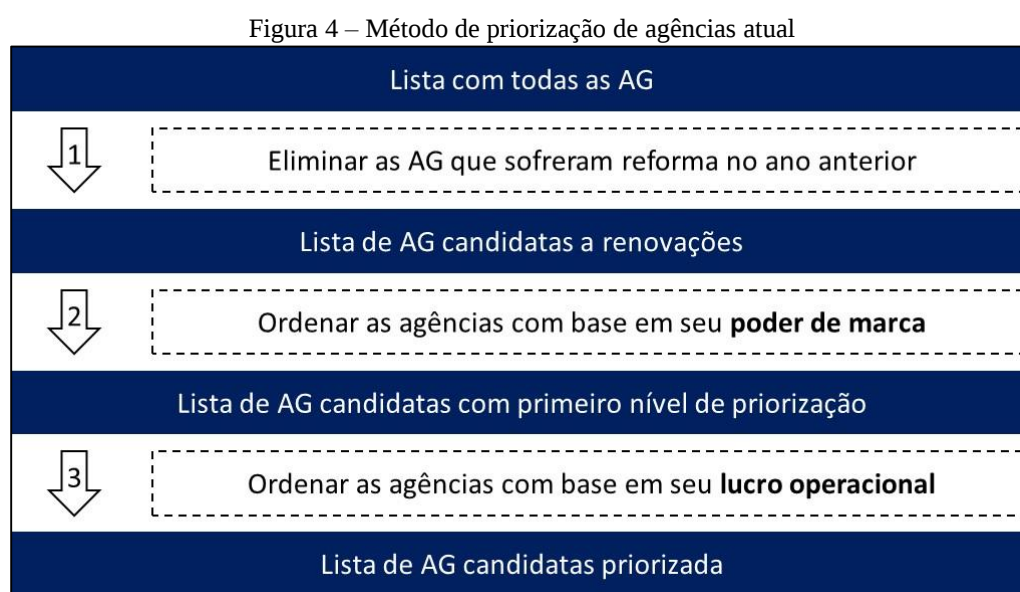
Tabela 8 - Exemplo do método orçamentário

Pauta	Valor Médio	AGs Planejadas	Total
Reforma Completa	R\$ 300.000,00	40	R\$ 12.000.000,00
Reforma Infra-Estrutura	R\$ 150.000,00	150	R\$ 22.500.000,00
Embelezamento	R\$ 50.000,00	300	R\$ 15.000.000,00
Total		490	R\$ 49.500.000,00

Fonte: Elaboração própria

2.1 MÉTODO DE RESOLUÇÃO ATUAL

A método atual para a seleção de agências é utilizado uma vez ao início do ano e tem como objetivo definir quais obras serão executadas em quais agências durante o período. O método principal baseia-se em 4 fatores principais: o lucro bruto de cada uma das agências, o padrão (definido anteriormente como o poder de marca da agência), a lista de agências selecionadas no ano anterior e a região geográfica em que as agências selecionadas estão. Podemos ver o fluxo do método atual na Figura 4.



Fonte: Elaboração própria

Com é demonstrado em **(1)**, são primeiro eliminadas da lista de candidatas, agências nas quais foram executadas obras completas no ano anterior (reformas). Admite-se que todo tipo de necessidade de alteração foi contemplada através da pauta executada nela, isto é, não existe mais nenhum tipo de necessidade de atualização ou reparo quanto aos itens de infraestrutura ou estéticos.

Passa-se então aos próximos critérios de priorização: o seu padrão de marca **(2)** (maior poder de marca para o menor) e o lucro bruto do estabelecimento **(3)** (maior para menor), nesta ordem.

O cálculo do lucro é baseado nos valores apresentados durante os últimos 12 meses de operação de cada agência, para evitar distorções baseadas em eventos pontuais.

Aloca-se as maiores pautas, as com maior escopo de atuação, às agências mais prioritárias, seguindo a lista priorizada. As maiores pautas, são em geral as mais caras e mais abrangentes, como reformas de infraestrutura ou reformas completas. Quando o volume de agências acordado na estipulação do orçamento para esta pauta se esgota, passa-se à próxima. Assim são definidas a maioria das lojas alvo da área. Através do lucro e padrão de marca, sem nenhum tipo de avaliação de necessidade real de obra por parte da agência. Esta etapa está representada na Figura 5.

Figura 5 – Alocação de pautas a agências

Lista de AG candidatas priorizada		Maiores pautas (em custo)	
1. AG 7	→	1. Reforma Completa	
2. AG 9	→	2. Reforma Completa	
3. AG 45	→	3. Retrofit de Ar Cond.	
4. AG 19	→	4. Embelezamento	
5. AG 90	→	5. Embelezamento	

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, é feita uma avaliação de distribuição geográfica das agências focadas. A avaliação agora é focada principalmente na distribuição entre regiões geográficas brasileiras (sul, sudeste, centro-oeste, nordeste e norte). Compara-se esse resultado a distribuição de agência, para evitar que haja um foco muito grande em uma região específica. Isso é feito, especialmente, pois a

rede de lojas é dividida entre os diretores comerciais por região e tenta-se evitar algum tipo de favoritismo na seleção.

Por fim, a combinação de pautas e agências priorizadas é enviada aos seus respectivos diretores comerciais para avaliação e *feedback*. Quando essa lista retorna à área são feitas pequenas alterações segundo diretrizes recebidas e fecha-se a seleção estabelecida para o resto do ano.

2.3 PROBLEMAS EVINDENCIADOS

Nesta parte do trabalho serão apontados os principais problemas identificados na metodologia de seleção atual. A maior parte dos pontos que serão destacados estão associados à escassez de informações utilizadas nos métodos. Isso acaba culminando em um método simplista de priorização de agências que pode oferecer um resultado pouco aproveitável para a operação. Mais que isso, a priorização errada pode fechar agências em boas condições durante suas obras e deixar as mais precárias abertas, prejudicando a imagem da organização frente a seus clientes.

2.3.1 PROBLEMAS DE EFICÁCIA

O problema mais claro do método como executado hoje é sua falta de eficácia na seleção. Francischini e Francischini (2017) define-se eficácia como a relação entre o resultado obtido e o resultado planejado. No caso de um método de planejamento, podemos adotar como resultado planejado, o resultado desejado ou ótimo. No caso de problema de seleção de agências e obras, isso se traduz em selecionar as agências de maior importância para a rede e maior necessidade de uma renovação.

O processo, da maneira como ele é executado hoje apresenta resultados ineficazes. Isso é causado, principalmente, pela inexistência de indicadores associados à necessidade de execução de uma obra na agência, isso é o nível de degradação das agências não é avaliado no processo de seleção. Deve-se entender indicadores de necessidade, qualquer sinalizador de um item fora do padrão nas agências. Os indicadores de necessidade de renovação foram construídos pela equipe da área de infraestrutura recentemente e estão em um processo de validação. Em seu cálculo são ponderados fatores como número de problemas identificados durante uma vistorias periódicas, tempo desde a última renovação da agência, número de ocorrências de manutenção

corretivas (número de falhas de equipamentos), etc. Entende-se que os resultados deste trabalho ajudaram na validação e lapidação da forma de cálculo e suas ponderações.

O problema da dificuldade de seleção das agências mais necessitadas fica ainda mais evidente nos *feedbacks* recebidos dos diretores comerciais durante a validação final de agências selecionadas. Frequentemente recebe-se mensagens de que agência priorizada está em condições adequadas e não necessita de renovação. Porém, os próprios diretores não conhecem intimamente as 600 agências que se encontram sob sua responsabilidade e para indicar acuradamente os problemas na lista de agências priorizadas.

Alinhado ao problema anterior, o contato com os gerentes que operam as agências é extremamente reduzido, isto é, não se ouve a voz dos clientes finais na seleção de uma agência. Quando uma agência em necessidade de uma atuação é escolhida corretamente, nem sempre suas necessidades são devidamente tratadas. Muitos são os relatos de obras que fizeram reformas de múltiplos itens, mas não intervieram em pontos que os gerentes de fato tinham interesse que fosse reformado. Este fato expõe ainda mais a fraqueza desta solução definição de agências onde as obras serão eficazes.

O próximo ponto a ser explorado é a ausência de consulta ao histórico renovações das agências. Pouco se avalia quais e quando foram as últimas pautas executadas em uma dada loja. O único fator avaliado é a execução de alguma intervenção da agência estritamente no ano anterior. Corre-se novamente o risco de executar obras custosas e fechar agências chave sem necessidade.

Outro motivo de crítica ao método aplicado é a utilização do parâmetro de “poder de mercado”. Isso porque, quando foi questionado às pessoas da área (de analista a gerentes) quais variáveis eram utilizadas para calcular o parâmetro ninguém sabia explicar com propriedade, surgiram apenas palpites e especulações. Em um momento posterior, foi questionada a própria área de planejamento comercial, que respondeu que o parâmetro é uma antiga classificação das agências do banco, mas que internamente (dentro do planejamento comercial) essa métrica já não havia sido descartada, por não representar fielmente as características da rede de agências. Apesar disso, por causa da demanda de outras áreas pelo “poder de marca”, a área mantinha o dado valor, mas sem grande esforço de atualização ou modernização da medida.

É importante ressaltar a dificuldade na utilização de pautas (pacote de itens) como produtos fechados para as agências. O conceito de “pacotes de obra” causa dificuldade na acuracidade dos projetos dentro das agências. Isso ocorre, porque em geral a combinação de problemas encontrados dentro delas não se adequa totalmente aos itens de atuação estabelecidos em uma ou uma combinação de pautas. Existe a necessidade, como já dito anteriormente de se adequar à necessidade do cliente, através da customização dos itens que são executados em cada uma das agências, para garantir a eficiência das intervenções executadas em cada uma dos imóveis e evitar prolongar ao máximo o período até a próxima necessidade. A segmentação das obras em pauta, apesar de simplificar a seleção de agências e escopos a serem executados em cada uma delas, distorce o problema principal a ser resolvido pela área: **Quais itens devem sofrer reforma em quais agências.** No lugar disso é discutido quais pautas serão feitas em quais agências sem grande intenção de entender se elas de fato precisam de todo aquele pacote que lhe foi atribuído ou apenas uma parte de seus itens.

2.3.2 PROBLEMAS DE EFICIÊNCIA

O termo **eficiência** ou **produtividade** é definido pela relação entre o resultado alcançado pelo processo em relação aos recursos utilizados para alcançá-lo (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017). No caso do trabalho sendo realizado, a eficiência das soluções de seleção de renovações sendo avaliadas está diretamente associada ao resultado obtido sobre a utilização do orçamento e capacidade das equipes internas.

Tendo isso em mente, podemos observar sinais de ineficiência associados à solução aplicada atualmente. Não é feita nenhuma avaliação mais detalhada da utilização do orçamento, por exemplo. Parte-se da premissa que todas as obras terão o preço médio calculado durante o período de definição de orçamento anual, mas não se avalia aqui se o *mix* de agências e pautas selecionadas tende a ter uma aderência maior ou menor ao valor total disponível.

Para ilustrar esse problema é interessante pensarmos em agências de tamanhos variados. Dadas algumas premissas simples, podemos partir da hipótese de que uma reforma em uma agência considerada grande (600 m² de imóvel, por exemplo) deve ser mais cara que em uma menor (100 m²). Por outro lado, a necessidade de renovação da agência de 600 m² pode ser muito superior à de 100 m². É importante, por tanto, que seja possível medir o custo benefício dos investimentos, para que seja possível comparar casos como esses em grande escala.

A avaliação de capacidade das equipes internas da área também não é avaliada a fundo. Em nenhum momento durante a seleção, avalia-se a capacidade da mão-de-obra disponível na área. Como consequência, existem vários problemas de sobrecarga de algumas equipes e ociosidade de outras.

Por fim, apesar de todos os pontos já expostos, existem gastos que podem ser reduzidos quando tomamos como foco atividades anteriores à obra em si. Esses custos podem ser generalizados como os de execução do projeto executivo, orçamentação e pedidos de aval de obras em órgãos públicos. Esse problema foi principalmente apontado, porque em uma visão mais geral da organização, é tão importante reduzir desperdícios internos como externos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dedicado à apresentação dos conhecimentos utilizados na elaboração do método de resolução proposto para o problema abordado.

O problema, foco deste trabalho, é a seleção de quais agências dentro de uma rede bancária serão renovadas. Além de se escolher quais agências sofrerão uma visita renovatória, deverão ser definidos seus respectivos escopos de atuação.

Deseja-se propor um modelo que maximize a eficácia (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017) da atuação da área de infraestrutura, renovando às agências prioritárias, as que estão em um nível de degradação mais avançado e as mais importantes para o poder da marca. Ao mesmo tempo devem ser respeitadas as restrições de orçamento e capacidade interna (gerenciadores de obras, projetistas e elaboradores de *layouts*).

Parte-se de uma abordagem mais genérica, introduzindo conhecimentos abrangentes sobre “Pesquisa Operacional” e em seguida serão apresentadas as principais metodologias estudadas para a elaboração do trabalho, com o foco principal no “Problema da Mochila”. Neste desdobramento serão apresentados os principais modelos teóricos que auxiliaram a modelagem matemática posteriormente apresentado no Capítulo 4.

3.1 PESQUISA OPERACIONAL

Segundo Arenales *et al.* (2007) o conceito de Pesquisa Operacional envolve o desenvolvimento de métodos científicos para analisar sistemas complexos e tomar decisões. Conforme os autores, o papel desta disciplina tem se tornado cada vez mais importante nas últimas décadas, impulsionado por fatores como a economia eletrônica, globalização, telecomunicações, etc.

Ainda segundo Arenales *et al.* (2007) três requisitos são necessários para a utilização da pesquisa operacional com sucesso. Em primeiro lugar, destaca-se a habilidade de traduzir problemas complexos em um modelo matemático ou simulação. O segundo ponto consiste em desenvolver métodos de resolução para os modelos desenhados. Por fim, um requisito que depende menos das competências técnicas e mais de habilidades interpessoais, é necessário

envolver os clientes da pesquisa, já eles que compreendem e vivem os problemas que serão tratados.

De maneira geral, Winston (2004), define que um modelo de otimização tem como objetivo achar valores que otimizem (maximizem ou minimizem) a função objetivo. Isso pode ser feito através da alteração dos valores de variáveis de decisão, que devem seguir uma coleção de restrições impostas ao modelo.

Dentro do contexto deste trabalho também é pertinente discutir algumas classificações de modelos mais clássicas, que serão utilizadas na modelagem matemática do problema mais adiante. Destaca-se a diferença entre:

- Modelos lineares e não-lineares
- Modelos inteiros e não-inteiros

A linearidade de um modelo, segundo Goldbarg *et al.* (2000), é definida pelas características das variáveis de decisão do modelo. Um modelo matemático determinístico pode ser considerado linear se as variáveis que o compõe forem contínuas e apresentarem um comportamento linear, tanto em relação às restrições como à função objetivo. Winston (2004) apresenta estes modelos, de maneira mais pragmática, como modelos em que as variáveis de decisão são sempre multiplicadas por constantes e então somadas. Caso essa condição não seja respeitada o modelo é considerado Não-Linear.

Ainda segundo Goldbarg *et al.* (2000), a importância dos modelos de programação linear está na sua vasta aplicabilidade e velocidade com que os algoritmos de solução existentes conseguem resolvê-los. Por este motivo, existem múltiplas técnicas utilizadas para transformar modelos não-lineares em lineares.

Uma destas técnicas será abordada mais adiante, na formulação matemática do problema estudado.

Já o contraste dos modelos inteiros e não-inteiros está relacionada à condição das variáveis poderem ou não assumir valores contínuos. Essa condição normalmente implica uma maior complexidade computacional em comparação aos modelos lineares (GOLDBARG *et al.*, 2000).

Mais adiante serão apresentados alguns problemas clássicos de pesquisa operacional, como o problema da mochila. Nestes exemplos ficarão claras as condições e aplicações de um modelo de programação linear inteira (PLI).

3.2 PROBLEMA DA MOCHILA

Segundo Goldberg *et al.* (2000), o problema da mochila ou *knapsack problem* é um modelo clássico e vastamente utilizado de programação linear inteira (PLI). Ele recebe esse nome, pois pode ser explicado de maneira alegórica pelo desafio de encher uma mochila maximizando o valor carregado, mas sem ultrapassar a restrição de peso que ela suporta.

Ainda segundo Goldberg *et al.* (2000), o primeiro registro associado a este problema foi, possivelmente, na literatura elaborada por Danzig (1957). Os modelos associados ao problema da mochila (principalmente os mais simples) podem ser compreendidos com modelos que tentam maximizar eficiência de um dado recurso.

Na alegoria da mochila, por exemplo, deseja-se maximizar valor total dos itens sendo carregados e respeitando a capacidade de peso disponível na mochila.

3.2.1 PROBLEMA BASE

Segundo Goldberg *et al.* (2000), a formulação básica do problema pode ser apresentada como descrito a seguir.

Índices

j Cada tipo de item disponível para o modelo inserir na mochila. O índice j varia de 1 a n .

Variáveis

x_j Variável base do problema da mochila. Representa o número de itens do tipo j que serão incluídos na mochila.

Parâmetros

c_j Valor de cada item do tipo j . Este valor será adicionado à função objetivo caso o modelo opte por incluir um item j na mochila ($x_j > 0$);

p_j Peso de cada item do tipo j para o modelo. Este valor será o acrescido ao consumo da restrição de capacidade principal, caso o modelo opte por incluir um item j na mochila ($x_j > 0$);

P Limite de capacidade de peso da mochila.

Formulação Matemática

$$\max \sum_{j=1}^n (c_j \cdot x_j) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n (p_j \cdot x_j) \leq P \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j \quad (3)$$

$$x_j \in \mathbb{Z} \quad \forall j \quad (3)$$

Neste primeiro modelo, é possível adicionar múltiplas vezes um mesmo item do tipo j à mochila, já que a variável x_j não é binária.

A função do objetivo do modelo (1), estabelece a maximização do valor carregado na mochila. A avaliação é feita através da multiplicação dos fatores $c_j \cdot x_j$. Estabelece-se assim, que o resultado do modelo é igual ao número de itens do tipo j sendo carregados pela mochila e seus valores associados.

A restrição (2) define para o modelo o limite de capacidade do seu recurso principal. No caso da metáfora da mochila, estaríamos falando da restrição de “peso” máximo suportado. Ela é formado pela somatória do número de itens do tipo j que foram incluídos na mochila, multiplicados pelos seus relativos pesos unitários.

Em situações reais, essa restrição reflete os principais limitantes de capacidade do modelo. Em geral ela pode ser entendida através da pergunta: “O que nos impede de colocar tudo na mochila?”. Em geral, para modelos que rodam em empresas, a restrição tende a ser fruto de um orçamento limitado ou tempo limitado da equipe.

Por fim temos as restrições que caem diretamente sobre a variável x_j . As condições definidas por (3) definem a impossibilidade de colocarmos um valor negativo de itens na mochila e as condições (4) estabelecem que só é possível colocar na mochila valores inteiros (e, por tanto, discretos) de itens. Estas últimas restrições tornam o modelo em um problema de programação linear inteira, já discutido sob a perspectiva de Winston (2004) e Goldberg *et al.* (2000).

Segundo Goldberg *et al* (2000), uma variação importante, e mais utilizada, do modelo base é o ‘problema da mochila 0-1’, onde a restrição da variável inteira é substituída por:

$$x_j \in \{0; 1\}, \quad \forall j$$

Neste novo problema, considera-se que existe apenas um objeto de cada tipo para ser escolhido pelo modelo. A seguir serão exploradas algumas variações do problema da mochila pertinentes ao problema que será modelado neste trabalho.

3.2.2 MOCHILA COM MÚLTIPLAS RESTRIÇÕES

Em grande parte dos problemas reais, existem múltiplas restrições para a escolha da melhor solução. Em geral, parte-se de uma restrição de recurso que é compreendida como a mais importante e, com testes e avaliação das soluções encontradas, são identificados outros recursos limitantes menos óbvios dentro do problema em análise. O caso estudado neste trabalho partilha desta condição.

Como já foi dito na apresentação do problema, o orçamento é um grande limitante para a implantação da solução a ser proposta. Logo, essa restrição foi a primeira a ser testada e operacionalizada nos modelos parciais, utilizados para testes e validação dos conceitos mapeados com os clientes. Um resultado inicial do modelo apresentou um número extremamente elevado de visitas a serem feitas, muito mais do que a área de infraestrutura do banco jamais tinha realizado. A análise e discussão deste resultado introduziu ao problema novas restrições de capacidade não evidenciadas anteriormente: a disponibilidade interna de mão-de-obra.

Com isso, buscou-se compreender opções para a introdução dessa restrição aos modelos. Encontrou-se em Goldberg *et al.* (2000) a avaliação deste problema, denominado na literatura como “Problema da mochila 0-1 multidimensional (PK-n-Dimensional)”. Neste novo problema, além da introdução de uma segunda restrição de capacidade da mochila (o volume), também atende-se a condição de que somente um item do tipo j pode ser transportado na mochila (“problema 0-1”).

A formulação matemática assemelha-se à do problema base com a inserção de dois **parâmetros**:

v_j Volume de cada item do tipo j .

V Volume total disponível na mochila.

Descreve-se a seguir a formulação matemática do problema:

$$\max \sum_{j=1}^n (c_j \cdot x_j) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n (p_j \cdot x_j) \leq P \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n (v_j \cdot x_j) \leq V \quad (3)$$

$$x_j \in \{0; 1\} \quad \forall j \quad (4)$$

Neste caso, temos duas restrições associadas a recursos, (2) e (3), agindo sobre o modelo, aumentando significativamente a complexidade. Volume e peso máximo precisam ser avaliados para a obtenção de um resultado ótimo.

O número de restrições não precisa se restringir a somente duas, a maneira como foi introduzida a restrição de capacidade ao modelo base pode ser generalizada para a inserção de demais restrições ao modelo, segundo Goldbarg *et al.* (2000).

3.2.3 PROBLEMA DA MOCHILA COMPARTIMENTADA

O problema da mochila compartimentada, assim denominado por Marques e Arenales (2002), trata de uma variação específica do problema da mochila, que é descrita pelos autores como segue:

Marques e Arenales (2002, p. 1) descrevem esta variação do problema

“O Problema da Mochila Compartimentada é uma variação do clássico problema da mochila e pode ser enunciado considerando-se a seguinte situação hipotética: um alpinista deve carregar sua mochila com possíveis itens de seu interesse. A cada item atribui-se o seu peso e um valor de utilidade (até aqui, o problema coincide com o clássico Problema da Mochila). Entretanto, os itens são de agrupamentos distintos (alimentos, medicamentos,

utensílios, etc.) e devem estar em compartimentos separados na mochila. Os compartimentos da mochila são flexíveis e têm capacidades limitadas. A inclusão de um compartimento tem um custo fixo que depende do agrupamento com que foi preenchido, além de introduzir uma perda da capacidade da mochila.” (MARQUES e ARENALES 2002, p. 1)

O valor principal compreendido na introdução dos compartimentos, é a da introdução de um custo fixo, associado ao compartimento. A formulação de uma variação do problema da mochila que comporte restrições de custo fixo é extremamente útil para o problema estudado onde a seleção de um item dentro de uma agência exige custos de contratação e tempo de mobilização da equipe interna.

A formulação matemática do problema foi simplificada em relação ao texto original, para que ela fosse mais aplicável ao problema real que será tratado no trabalho.

Índices

- i Cada compartimento dentro da mochila pode ser identificado com o índice i ;
- j Cada item disponível para ser inserido na mochila pode ser identificado com o índice j ;

Parâmetros

- p_{ij} Peso do item j , do compartimento i ;
- c_{ij} Valor do item j , do compartimento i ;
- d_i Custo de inserção do compartimento i na mochila. Penalidade à função objetivo pela inserção de um novo compartimento;
- P Capacidade máxima de peso da mochila;
- S_i Perda da capacidade de peso associada à inserção do compartimento i na mochila.

Variáveis

x_{ij} 1, se o item j do compartimento i será inserido na mochila, 0 caso contrário.

y_i 1, se o compartimento i será inserido na mochila, 0 caso contrário.

Modelo matemático

$$\max \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n (c_{ij} \cdot x_{ij} - d_i) \cdot y_i \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m (p_{ij} \cdot x_{ij} + S_i) \cdot y_i \right) \leq P \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$y_i \in \{0; 1\}, \quad \forall i \quad (4)$$

Este novo modelo impõe a necessidade de criação de cada um dos compartimentos antes da possibilidade dos itens serem inseridos na mochila. Podemos notar que sem que y_i seja 1, a seleção de itens ($x_{ij} = 1$) não surte nenhum efeito sobre a função objetivo (1). Ao mesmo tempo, quando o modelo decide pela criação de um novo compartimento seus efeitos sobre a função objetivo e restrição de peso já são aplicados.

Reforça-se a observação de Marques e Arenales (2002) de que este modelo não é linear, dada a multiplicação das variáveis de decisão tanto na função objetivo como na restrição de peso da mochila.

Porém existem métodos de linearização que podem ser aplicados a esta situação, para que algoritmos computacionais de solução de problemas lineares inteiros possam resolver o problema sem grandes alterações na modelagem matemática.

O método mais clássico de linearização de problemas como o apresentado acima está associado à linearização de problemas de custo fixo, abordado por Arenales *et al.* (2007). No caso estudado (mochila compartilhada), a implicação seria: Se algum item for inserido na mochila, então é necessário que exista um compartimento compatível com seu armazenamento. Desta maneira incorrem as consequências de se inserir um novo compartimento.

Arenales *et al.* (2007) propõem que esta condição, aparentemente uma relação não-linear, seja tratada através da adaptação da variável y_i , pela criação de uma restrição que amarre os itens do compartimento (x_{ij} associados) à existência deste mesmo compartimento (y_i):

$$y_i \cdot M \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i$$

Desta maneira, adotando-se um parâmetro M suficientemente grande, isto é, maior que qualquer somatória de x_{ij} pertencentes ao compartimento j , é possível manipular o modelo para que a condição de custo fixo seja sempre atendida. Descreve-se o modelo adaptado a seguir:

Modelo matemático (Linearizado)

$$\max \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n (c_{ij} \cdot x_{ij}) - d_i \cdot y_i \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m (p_{ij} \cdot x_{ij}) + S_i \cdot y_i \right) \leq P \quad (2)$$

$$y_i \cdot M \geq \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad \forall i \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$y_i \in \{0; 1\}, \quad \forall i \quad (5)$$

Esta nova formulação do problema possibilita que *softwares* para modelos de programação linear inteira possam ser utilizados em sua solução. No próximo capítulo será feita a modelagem matemática onde os modelos de programação linear inteira e técnicas de linearização, como esta, serão retomados e aplicados ao problema estudado.

4 MODELAGEM MATEMÁTICA

A seguir será feita uma breve recapitulação dos problemas evidenciados no capítulo anterior. Em seguida será apresentada a formulação matemática do problema, assim como as explicações para cada uma das equações apresentadas.

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROBLEMA

A área de infraestrutura do banco é responsável pela seleção e execução de renovações em itens de infraestrutura na rede de agências em todo país. Ao mesmo tempo em que ela precisa priorizar e executar o escopo definido internamente, ela é estimulada, através de demandas de áreas parceiras, a realizar alterações específicas dentro desta mesma rede. Estes itens podem estimular uma alteração na seleção das agências, a fim de gerar ganhos de escala para a organização, já que centralizar um maior número de demandas em uma mesma agência pode gerar ganhos de escala consideráveis.

A função da gerência estudada é justamente definir, dentro do seu escopo de itens (apresentado no Capítulo 2), quais serão as agências que terão renovações e alterações no ano. Como estamos lidando com, por volta de, 3500 agências dentro da sua rede, não é viável esperar que todas receberão uma visita em um período de 1 ano. Desta maneira, é preciso priorizar o escopo de atuação da área de maneira a maximizar o orçamento que ela possui, assim como a capacidade de execução do time interno (execuções de projetos, *layouts* e gerenciamento das obras).

A solução utilizada hoje é puramente baseada no lucro e poder de imagem da agência e não busca ser mais eficiente com o orçamento que a área possui. Desta maneira, o orçamento não é devidamente alocado à renovação dos itens que traria maior valor à marca do banco como um todo.

Da maneira como ela é, não se atua nas lojas que realmente precisam de uma revisão da infraestrutura ou apresentam uma imagem carente aos clientes. Além disso, não se leva em consideração as capacidades internas no momento da seleção. A equipe de arquitetos e engenheiros acaba sofrendo com a falta de planejamento que leve em consideração o número de horas disponíveis para a execução dos projetos executivos, *layouts* e gestão das obras.

Pretende-se ao final deste trabalho ter dado à área de infraestrutura uma solução que seja mais adequada às suas necessidades, que seja mais acurada em relação às necessidades da rede de agência sob sua responsabilidade e que seja mais eficiente em relação aos recursos que ela possui internamente (orçamento e tempos de equipe). A implantação completa da solução que será proposta nos capítulos seguintes ajudará a dimensionar mais corretamente a carga de trabalho de cada uma das equipes internas, facilitando estudos e avaliações como o planejamento e controle da produção (PCP) e o planejamento e programação das obras ao longo do ano. Além disso, é necessário que este modelo possa ser aplicado de maneira mais frequente que uma vez por ano, para que a conhecimento de novas informações (mudanças de parâmetros do modelo), possam redirecionar e redimensionar os esforços com alterações das condições iniciais planejadas (emergências, alterações de estratégias comerciais, novas medidas regulatórias).

O problema de seleção será resolvido através de um modelo de programação linear inteira mista. O problema clássico usado como base para o desenvolvimento da solução foi o problema da mochila, descrito na revisão bibliográfica do trabalho. Pretende-se adaptar o problema da mochila multidimensional, estudado em Goldberg *et al.* (2000), e o problema da mochila compartimentada, da maneira como foi apresentado por Marques e Arenales (2002), para que o modelo represente as necessidades reais da área. A partir disso pretende-se maximizar a importância das renovações que serão executadas através da seleção ou não de cada um dos itens disponíveis a ele. Cada item terá a opção de ser selecionado apenas uma vez tornando assim as variáveis de seleção discretas e binárias. Além disso o modelo poderá, caso pertinente contratar horas-extras para cada uma das equipes. Como estas variáveis de capacidade extra são contínuas e a variável de escolha dos itens é discreta (binária), o modelo é classificado como misto.

4.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A seguir serão listadas as restrições e hipóteses que foram consideradas fundamentais para a construção do modelo matemático. Serão também listados índices e parâmetros que serão utilizados mais adiante, a fim de facilitar a compreensão da modelagem.

Principais restrições

- Respeitar o orçamento anual estabelecido para a execução de renovações em agências;
- Respeitar a capacidade horária da equipe responsável pela execução dos projetos executivos;
- Respeitar a capacidade horária da equipe responsável pela execução dos *layouts* das agências;
- Respeitar a capacidade horária da equipe responsável pela execução das renovações nas agências;

Principais hipóteses

- Será considerado o período de orçamento de um ano. Esse dimensionamento é repassado às restrições de capacidade que também trabalham com essa janela de tempo;
- O custo de uma obra pode ser decomposto em parcelas associadas a cada um dos itens que serão executados e uma parcela considerada um custo fixo, ligado à mobilização da construtora contratada para a execução da renovação dos itens;
- Não existe a execução parcial de um certo item dentro de uma agência. Por exemplo, não se irá à agência e trocará apenas parte do carpete. Considera-se sempre a renovação completa;
- A dificuldade de execução de um *layout* é sempre a mesma, independentemente do escopo da renovação (itens a serem executados);
- Sempre é necessário revisar ou atualizar o *layout* da agência, independentemente do escopo de renovação a ser executado nela;
- A dificuldade (consumo de capacidade) da equipe responsável pela execução da obra é diretamente proporcional ao valor contratado;
- A necessidade de execução de um projeto executivo está exclusivamente associada à renovação de itens específicos como, por exemplo, estrutura civil, *retrofit* de ar condicionado ou alterações na estrutura hidráulica ou elétrica da agência;
- A dificuldade de se executar um projeto executivo independe da agência e suas características (premissa de simplificação);
- A dificuldade de atualização de um *layout* de agência não varia de acordo com a agência.

Lista de índices e conjuntos

Os principais índices do modelo estão ligados à identificação dos itens e agências na rede bancária:

- Cada **agência** pode ser identificada por um índice i único dentro da rede de lojas em funcionamento;
- Cada categoria de **item** ou área de possível renovação (seja carpete, estrutura civil, pintura das paredes) pode ser identificada pelo índice j .

Temos, portanto, que a combinação de um índice de agência i com um índice de item j , refere-se a uma dado item de possível de renovação.

Desta maneira podemos agrupar os índices em:

- A: Conjunto de todas as agências i , pertencentes ao modelo;
- E: Conjunto de todos os itens que pertencem à estrutura da agência Ei ;
- C: Conjunto de todas as áreas funcionais dentro da seção da empresa em análise, identificadas pelos índices.
 1. *Layout*
 2. Projeto executivo
 3. Gestão de obras.

Parâmetros

S_{ij}	Importância de renovação do item j na agência i para a rede de agências bancária. É afetado pela agência que se encontra, qual o tipo de item e seu estado de degradação;
set_i	Soma da importância de execução de todas demandas setoriais requisitadas para a agência i ;
c_{ij}	Custo marginal de reforma o item j dentro de uma agência i ;
O_{total}	Orçamento total disponível para a área utilizar na renovação de itens;

CFV_i	Custo fixo de realizar uma visita na agência i ;
CAP_{proj}	Capacidade total (em horas-homem) da equipe interna responsável pela execução dos projetos executivos;
CAP_{lay}	Capacidade total (em horas-homem) da equipe interna responsável pela execução dos <i>layouts</i> das agências;
CAP_{obras}	Capacidade total (em horas-homem) da equipe interna responsável pela execução das obras nas agências;
cP_i	Consumo de capacidade para a execução de um projeto executivo associado ao item i ;
cL	Consumo de capacidade fixo para todas as agências na execução de um <i>layout</i> ;
R	Coeficiente que conversão do valor gasto em renovações de itens em consumo de capacidade de obras (em horas-homem/R\$);
CX_1	Custo de capacidade extra contratada para execução de projetos executivos (em R\$ por horas-homem);
CX_2	Custo de capacidade extra contratada para execução de layouts (em R\$ por horas-homem);
CX_3	Custo de capacidade extra contratada para execução das obras (em R\$ por horas-homem);
M	Parâmetro auxiliar para linearização do modelo de custo fixo. Número suficientemente grande tal que $M \geq \sum x_{ij}$, para qualquer agência i .

Variáveis de decisão

x_{ij}	1, se o item j será renovado na agência i , abrange itens de infraestrutura (responsabilidade da área selecionar como itens), 0 caso contrário.
V_i	1, se será realizada uma visita na agência i ; 0 caso contrário.
$CAPX_1$	Capacidade extra contratada (terceirizada) para a equipe responsável pelos projetos executivos;
$CAPX_2$	Capacidade extra contratada (terceirizada) para a equipe responsável pelos layouts das agências;
$CAPX_3$	Capacidade extra contratada (terceirizada) para a equipe responsável pela execução das obras .

Modelo matemático

$$\max \sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot s_{ij}) + \sum_{i \in A} (V_i \cdot set_i) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot c_{ij}) + \sum_{i \in A} (CFV_i \cdot V_i) + \sum_{c \in C} (CAPX_c \cdot CX_c) \leq O_{total} \quad (2)$$

$$V_i \cdot M \geq \sum_{j \in E} x_{ij} \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot cP_i) \leq CAP_{proj} + CAPX_{proj} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in A} (V_i \cdot cL) \leq CAP_{layout} + CAPX_{layout} \quad (5)$$

$$\left(\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot c_{ij}) + \sum_{i \in A} (CFV_i \cdot V_i) \right) \cdot R \leq CAP_{obras} + CAPX_{obras} \quad (6)$$

$$CAPX_{proj} \geq 0 \quad (7)$$

$$CAPX_{layout} \geq 0 \quad (8)$$

$$CAPX_{obras} \geq 0 \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$V_i \in \{0; 1\}, \quad \forall i \quad (11)$$

4.3 DETALHAMENTO DO MODELO

Função objetivo (1): $\max \sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot s_{ij}) + \sum_{i \in A} (V_i \cdot set_i)$

A função objetivo do modelo (1) busca, maximizar a importância dos itens que serão escolhidos como prioridade para uma renovação. Esta função reflete a necessidade de uma eficácia maior na escolha de visitas e obras. Isso é alcançado através da soma do valor binário (x_{ij}) que representa a atuação ou não da área em um item e a importância associada a ele.

A segunda parcela da somatória representa o valor para o resultado do modelo gerado pela execução dos itens setoriais. Como dito anteriormente, os itens setoriais são tratados de maneira especial na formulação, pois eles não consomem orçamento diretamente disponível para a área diretamente. Desta maneira, é consumido apenas o custo fixo de mobilização e recursos de horas internas. Isso dá aos itens setoriais uma característica um tanto peculiar. Como não existe custo adicional em se realizar uma demanda setorial se já existe a intenção de se visita uma agência ($V_i = 1$), todo e qualquer tipo de demanda que não consome orçamento será executada em paralelo nesta agência. Isso acontece, pois, demandas que não irão consumir recursos sempre somará (desde que ela tenha uma importância não nula) ao valor total gerado na função objetivo. Desta maneira, a execução de todas as demandas setoriais de uma agência são dependentes apenas da variável que define a visita na agência.

A execução dos itens setoriais pode ser comparada ao problema da mochila compartimentada (MARQUES E ARENALES, 2002), a medida que a introdução de uma nova agência à coleção de agências priorizadas pode ser comparada à introdução de um novo compartimento no problema da mochila. A diferença maior é o fato de a função objetivo sofrer reflexos positivos com a introdução dessa nova agência (compartimento).

Restrição (2): $\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot c_{ij}) + \sum_{i \in A} (CFV_i \cdot V_i) + \sum_{c \in C} (CAPX_c \cdot CX_c) \leq O_{total}$

A restrição (2) estabelece o limite orçamentário do modelo. A primeira parcela da soma reflete o custo marginal na atuação em cada um dos itens (c_{ij}) disponíveis para o modelo selecionar, um parâmetro que depende tanto da agência como do tipo de item em questão.

Já a segunda parcela representa o custo fixo (CFV_i) associado a executar uma visita na agência e independe do tipo de item, já que representa um valor de mobilização da construtora na execução de no mínimo um item dentro de qualquer agência.

A última parcela estabelece o custo total da capacidade de terceiros que será contratada.

Um ponto a ser destacado, sobre a primeira parcela da soma $\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot c_{ij})$, é que os itens chamados “setoriais” não consomem o orçamento estipulado para o modelo, mas continuam gerando seu valor associado à função objetivo.

A princípio isso geraria problemas, pois o na resolução do modelo existiria a seleção de todos os itens setoriais de imediato, a fim de maximizar a função objetivo. No entanto, caso sejam executados de maneira isolada, isto é, em uma agência onde não se pretende executar nenhuma renovação de infraestrutura, existirão custos associados à mobilização da construtora para a execução da visita. Estes custos consomem orçamento através da segunda parcela $\sum_{i \in A} (CFV_i \cdot V_i)$.

Além disso, para qualquer visita existe também um consumo de capacidade da equipe de *layout*, obras e possivelmente projeto executivo. Desta maneira, tem-se que os itens setoriais acabam sendo um estímulo à uma dada visita, potencializando o valor gerado na renovação deles. Eles podem ser executados de maneira isolada, porém o consumo de capacidade e orçamento (custo fixo) impedem que eles sejam executados sem qualquer tipo de restrição dentro do modelo.

Restrição (3): $V_i \cdot M \geq \sum_{j \in E} x_{ij}$

As restrições (3) definem as dependências entre a existência da visita na agência i e a escolha de uma renovação de qualquer item j dentro desta agência (representado pela soma das variáveis

x_{ij}). Isto é, se for escolhido executar qualquer item dentro de certa agência, a variável V_i , que representa a ida visita à essa agência, será 1. Como a visita a uma agência ($V_i = 1$) representa um custo, que é reduzido do orçamento total, segundo a restrição orçamentária (2), caso nenhum item seja executado em uma agência i , a variável V_i tenderá a zero.

Esta restrição, já discutida anteriormente com base em Arenales *et al* (2007), é essencial para o modelo a medida que elimina a não-linearidade apresentada na formulação do problema da mochila compartimentada. Desta maneira é possível resolver o problema com *software* de otimização linear inteira como, por exemplo, *What's Best*.

Restrição (4): $\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot cP_i) \leq CAP_{proj} + CAPX_{proj}$

A restrição (4) avalia a capacidade da equipe interna responsável pela infraestrutura das agências, a equipe de projetos executivos. De maneira similar à restrição (2), associada ao orçamento da área, o consumo de capacidade dessa área está diretamente relacionado a quais itens são executados nas agências escolhidas. Porém, neste caso os parâmetros de consumo (cP_i) não são diferentes para cada uma das agências, como foi especificado nas hipóteses assumidas para o modelo.

Além disso, existe a possibilidade de estender a capacidade desta equipe contratando-se funcionários de empresas terceiras para gerenciar a execução de alguns projetos executivos. Esta possibilidade é representada pela variável $CAPX_{proj}$, na unidade horas-homem. Sacrifica-se, assim, parte do orçamento para aumentar a capacidade desta equipe, a fim de dar uma gama maior de oportunidades de maximização, visto que, se a contratação não for necessária, cai-se em um modelo igual ao sem possibilidade de contratação ($CAPX_{proj} = 0$).

A modelagem da restrição (4) deriva da compreensão e adaptação da mochila multidimensional (GOLDBARG *et al.*, 2000). No caso do problema sendo descrito, temos 4 dimensões de restrições: orçamento e capacidade (hora-homem) das equipes internas (*layout*, obras e projetos).

Restrição (5): $\sum_{i \in A} (V_i \cdot cL) \leq CAP_{layout} + CAPX_{layout}$

A quinta restrição também estabelece o limite de capacidade da equipe de *layout* na execução dos *layouts* de agências. Como estabelecido nas premissas do modelo e validado com a área, os é necessário revisar o *layout* das agências seja qual for a demanda executada, independente dos itens a serem executados. Desta maneira o consumo da capacidade de *layout* está associado à variável de visita à agência e não aos itens em específico.

Novamente temos a opção de sacrificar parte do orçamento em favor de aumentar a capacidade da área. A situação é análoga à de projeto executivo.

Restrição (6): $(\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot c_{ij}) + \sum_{i \in A} (CFV_i \cdot V_i)) \cdot R \leq CAP_{obras} + CAPX_{obras}$

Por fim temos a equação que restringe os itens executados à capacidade da equipe de obras. Como estabelecido na premissa e em acordo com a área, a dificuldade de gerenciar uma obra e a construtora contratada está diretamente relacionada ao custo total de contratação deste fornecedor. Esta relação pode ser descrita de maneira linear. Deste modo, o fator R é responsável por converter o consumo total do orçamento (primeiro fator da multiplicação) em expectativa de consumo da capacidade da equipe de obras (em horas-homem).

Novamente, em caso de a capacidade da equipe de obras ser o fator limitante para um resultado de seleção de renovações em agências melhor (maior valor na função objetivo), o limite de horas pode ser flexibilizado em detrimento de parte do orçamento, assim como nas outras duas restrições de capacidade.

Restrições (7) a (9):

Estas restrições definem que a contração de capacidade de mão-de-obra para qualquer uma das áreas deve ser nula ou positiva.

Restrições (10) a (11):

Estas restrições estabelecem que as variáveis x_{ij} e V_i são discretas e binárias, tornando o foco do trabalho para um modelo de programação linear inteira mista.

4.4 EXEMPLOS SIMPLIFICADOS

Com o objetivo de validar a modelagem matemática, foram realizadas algumas simulações controladas. Pretende-se assim, garantir que as interações entre as restrições funcionem de maneira coerente com o que foi discutido no desenvolvimento do modelo. Para estes testes, foi utilizado o *software* de otimização em *EXCEL What's Best* versão 15.0.1.3.

Do ponto de vista da complexidade do modelo existem dois principais exemplos que seriam interessantes testar, a opção dada ao modelo de “comprar” capacidade para cada uma das áreas e também a influência das demandas setoriais sobre o resultado do modelo.

A simulação será feita com um número reduzido de agências e itens, a fim de simplificar a compreensão das interações do resultado. As Tabelas 9, 10 e 11 mostram os valores dos principais parâmetros utilizados nas simulações.

Tabela 9 – Cenário base – Parâmetros associadas aos itens

AG - i	Item - j	S_{ij}	C_{ij}	cP_i
Agência	Índice do Item	Importância de renovação do item i,j	Custo de renovação o item i,j	Consumo da projetos para item i,j
1	1	90	33.000,00	15
1	2	19	10.000,00	0
1	3	12	16.000,00	0
1	4	55	100.000,00	8
2	1	62	10.000,00	15
2	2	31	13.000,00	0
2	3	18	3.000,00	0
2	4	52	50.000,00	8
3	1	9	3.000,00	15
3	2	4	3.000,00	0
3	3	12	10.000,00	0
3	4	100	110.000,00	8
4	1	32	13.000,00	15
4	2	7	26.000,00	0
4	3	30	10.000,00	0
4	4	47	33.000,00	8

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 – Cenário base – Parâmetros associados às agências

AG - i	CFV_i	set_i
Agência i	Custo fixo da visita à agência i	Importância dos itens setoriais planejados para a AG - i
1	50.000	0
2	50.000	0
3	50.000	0
4	50.000	0

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 – Cenário base – Parâmetros gerais

O_{total}	CAP_{proj}	CAP_{lay}	CAP_{obras}	cL	R
Orçamento base	Capacidade base de projeto	Capacidade base de <i>layout</i>	Capacidade base de obras	Capacidade consumida por <i>layout</i>	Fator de consume da cap. obras
500.000	50	8	200	4	0,0001

Fonte: Elaboração própria

Para facilitar o entendimento efeitos das demandas setoriais sobre modelo, assim como a capacidade de terceirizar ou “comprar” número de horas, o modelo será simulado inicialmente sem nenhuma destas possibilidades. Desta maneira, será mais simples identificar possíveis mudanças nos resultados decorrentes da introdução das novas restrições. Portanto, os resultados obtidos neste primeiro modelo serão simulados com as seguintes condições extras:

$$set_i = 0, \forall i$$

$$CAPX_{proj} = CAPX_{layout} = CAPX_{obras} = 0$$

A primeira restrição determina a inexistência de demandas setoriais para o modelo, o que geraria um incentivo para que fossem feitas visitas às agências com maior importância e volume de demandas pontuais. A segunda fixa a capacidade extra contratada de todas as áreas em zero, o que impossibilita uma compra extra de capacidade e redistribuição dos recursos (troca de orçamento por capacidade extra de alguma das áreas).

A introdução desta nova condição para o modelo se assemelha à apresentada no modelo proposto por Marques e Arenales (2002). Os efeitos destas restrições sobre o modelo foram comentados na Seção 4.2 na descrição das restrições.

Após a introdução destas condições ao modelo através do *software What's Best* foi obtido o seguinte resultado apresentado pelas Tabelas 12, 13 e 14:

Tabela 12 – Cenário base – Resultados gerais

AG - i	Item - j	s_{ij}	c_{ij}	cP_i	x_{ij}
1	1	90	33.000,00	15	1
1	2	19	10.000,00	0	1
1	3	12	16.000,00	0	1
1	4	55	100.000,00	8	1
2	1	62	10.000,00	15	1
2	2	31	13.000,00	0	1
2	3	18	3.000,00	0	1
2	4	52	50.000,00	8	1
3	1	9	3.000,00	15	0
3	2	4	3.000,00	0	0
3	3	12	10.000,00	0	0
3	4	100	110.000,00	8	0
4	1	32	13.000,00	15	0
4	2	7	26.000,00	0	0
4	3	30	10.000,00	0	0
4	4	47	33.000,00	8	0

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 12, apresenta novamente os parâmetros expostos na Tabela 9 nas 5 primeiras colunas. A sexta coluna (x_{ij}) apresenta efetivamente o resultado obtido na simulação. Itens marcados com o valor “1” nesta coluna são os escolhidos como solução ótima.

Tabela 13 – Cenário base – Avaliação de recursos

Recurso	Unidade	Consumido	Disponível	Capacidade Extra	% de Utilização
Orçamento	R\$	335.000	500.000	N/A	67%
Capacidade Projetos	HH	46	50	0	92%
Capacidade <i>Layout</i>	HH	8	8	0	100%
Capacidade Obras	HH	33,5	200	0	17%

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 13, apresenta os resultados obtidos na simulação para a utilização de recursos. Francischini e Francischini definem como a relação entre a quantidade do recurso que a empresa

efetivamente utilizou no processo produtivo sobre a disponibilidade do mesmo recurso. Podemos ver a relação de disponibilidade e consumo para cada uma das capacidade internas e orçamento. É importante destacar a última coluna, que representa o consumo total da capacidade em relação à disponibilidade fixa de horas. Esse indicador será utilizado recorrentemente ao longo do trabalho.

Tabela 14 – Cenário base – Resultado da função objetivo

Função Objetivo
339
Fonte: Elaboração própria

Por fim, a Tabela 14 apresenta o resultado obtido, pela função objetivo, através do modelo de otimização. É importante destacar que o valor de 339, sem uma base de comparação, não representa nenhum resultado tangível e tem como propósito único a maximização da necessidade de renovação. Os resultados obtidos nos problemas só são comparáveis quando não se altera os parâmetros utilizados no método de resolução. Futuramente, com a comparação de métodos de resolução, poderão ser tiradas conclusões mais significantes sobre o resultado.

Como podemos ver nos resultados obtidos na Tabela 12, foram priorizadas renovações dentro das agências 1 e 2. O fator limitante neste caso é foi a capacidade de *layout*, que foi totalmente consumida. Outras equipes, principalmente a de obras, ficaram ociosas.

No próximo exemplo, serão observados os efeitos associados à introdução de demandas setoriais no modelo ($\sum \text{set}_i \neq 0$). Espera-se que a introdução destes valores altere as condições ótimas do modelo, alterando as agências priorizadas.

Para esse novo cenário, os parâmetros alterados em relação ao primeiro modelo podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 – Cenário 1 – Parâmetros de demandas setoriais

AG - i	set_i
1	10
2	5
3	50
4	70

Fonte: Elaboração própria

O resultado obtido ao final deste cenário é apresentado nas tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Cenário 1 – Resultados gerais

AG - i	Item - j	s_{ij}	c_{ij}	cP_i	x_{ij}
1	1	90	33.000,00	15	1
1	2	19	10.000,00	0	1
1	3	12	16.000,00	0	1
1	4	55	100.000,00	8	1
2	1	62	10.000,00	15	0
2	2	31	13.000,00	0	0
2	3	18	3.000,00	0	0
2	4	52	50.000,00	8	0
3	1	9	3.000,00	15	0
3	2	4	3.000,00	0	0
3	3	12	10.000,00	0	0
3	4	100	110.000,00	8	0
4	1	32	13.000,00	15	1
4	2	7	26.000,00	0	1
4	3	30	10.000,00	0	1
4	4	47	33.000,00	8	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17 – Cenário 1 – Resultado da função objetivo

Função Objetivo
372

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos neste novo cenário demonstram os efeitos das demandas setoriais sobre o modelo. Isso pode ser evidenciado pela alteração das agências priorizadas, no lugar da agência 2, foi priorizada a agência 4, que apresenta uma proposta de valor mais alta em relação à agência 2 associada às demandas setoriais.

Na Tabela 18 pode-se entender este efeito de maneira mais clara. Nela podemos identificar o potencial total de retorno associado à renovação de uma agência. Quando olhamos somente para o retorno associado aos itens x_{ij} , as agências que seriam priorizadas: 1 e 2. Com a introdução dos valores set_i , obtém-se um novo ótimo com a combinação das agências 1 e 4. Pode-se notar que se compararmos apenas os valores associados à primeira parcela da função objetivo ($\sum_{i \in A} \sum_{j \in E} (x_{ij} \cdot s_{ij})$), as agências 1 e 2 oferecem maiores oportunidades da sua maximização. Com a introdução da segunda parcela ($\sum_{i \in A} (V_i \cdot set_i)$), passa-se a perceber as agências 1 e 4 como a melhor opção para maximização da função objetivo, como pode ser identificado na Tabela 18.

Tabela 18 – Cenário 1 – Ganho para a função objetivo				
Agência	1	2	3	4
$\sum s_{ij}$	176	163	125	116
set_i	10	5	50	70
Total	186	168	175	186

Fonte: Elaboração própria

Para o próximo cenário, será introduzida ao cenário base (Cenário 1) a opção da compra de horas terceirizadas para as três áreas. Alterando a natureza do problema para um modelo de programação linear inteira **mista**, descrita por Goldbarg *et al.* (2000). Matematicamente, remove-se a restrição aplicada ao modelo simplificado, apresentado no início dessa seção. A Tabela 19 demonstra os custos de contratação de terceiros em R\$/Horas-homem.

Tabela 19 – Cenário 2 – Parâmetros – Custos de capacidade extra		
$CX_{I=proj}$	$CX_{2=layout}$	$CX_{3=obra}$
1.000,00	1.000,00	1.000,00

Fonte: Elaboração própria

O resultado obtido ao final deste cenário é demonstrado pelas Tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20 – Cenário 2 – Resultados gerais

<i>AG – i</i>	<i>Item - j</i>	<i>sij</i>	<i>cij</i>	<i>cPi</i>	<i>xij</i>
1	1	90	33.000,00	15	1
1	2	19	10.000,00	0	1
1	3	12	16.000,00	0	0
1	4	55	100.000,00	8	0
2	1	62	10.000,00	15	1
2	2	31	13.000,00	0	1
2	3	18	3.000,00	0	1
2	4	52	50.000,00	8	1
3	1	9	3.000,00	15	0
3	2	4	3.000,00	0	1
3	3	12	10.000,00	0	1
3	4	100	110.000,00	8	1
4	1	32	13.000,00	15	0
4	2	7	26.000,00	0	0
4	3	30	10.000,00	0	1
4	4	47	33.000,00	8	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 21 – Cenário 2 – Avaliação de capacidade

Recurso	Unidade	Consumido	Disponível	Capacidade Extra	% de Utilização
Orçamento	R\$	498.607	500.000	N/A	99,7%
Capacidade Projetos	HH	54	50	4	108%
Capacidade <i>Layout</i>	HH	16	8	8	200%
Capacidade Obras	HH	49,9	200	0	24,9%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22 – Cenário 2 – Resultado da função objetivo

Função Objetivo

462

Fonte: Elaboração própria

Nota-se um aumento do valor obtido na função objetivo. Isso pode ser explicado pela flexibilização e uma “intercambialidade” dos recursos entre si. Como é possível sacrificar parte do orçamento total disponível ao modelo em favor de maior capacidade de cada uma das áreas, é de se esperar que as capacidades das equipes não seja o fator limitante. No cenário base, a capacidade da equipe de *layout* como principal gargalo para o modelo, isto é, o único recurso que estava com 100% da sua capacidade consumida eram as horas-homem da equipe de *layout*. Com a introdução dessa nova possibilidade, o modelo é capaz de alocar melhor os recursos a fim de chegar a um resultado melhor. Em geral, como todos os recursos podem ser negociados a partir do orçamento, é de se esperar que em nenhum cenário do modelo final, o orçamento não tenha sido consumido por completo.

A flexibilização dos gargalos pode ser identificada na última coluna da Tabela 21, onde os valores para o percentual de utilização (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017) em relação aos recursos internos estão acima de 100%. Isto é, a capacidade interna (100%) que era um gargalo para a obtenção foi expandida, no caso da equipe de *layout* até o dobro da original.

Vale a pena ressaltar que foi utilizado um número reduzido de agências no exemplo para simplificar a compreensão das interações com as alterações de cenário. Além disso, na resolução de algumas variantes que envolviam um número mais elevado de variáveis, a solução não pode ser obtida por causa do tamanho do modelo. Em casos críticos, com 3500 agências e 66.500 itens, mais de 6 horas foram consumidas sem que um resultado fosse obtido para um modelo com, por volta de, 70.000 variáveis binárias e 3 variáveis contínuas. Isso torna difícil a utilização do modelo.

A utilização do modelo é prejudicada à medida que impossibilita a validação da seleção global de agências. O resultado global do modelo é dificilmente comparável ao realizado pela área com a solução atual. Ao mesmo tempo o modelo deve possibilitar múltiplas execuções por mês, principalmente no início do ano orçamentário da empresa. Isso é feito da maneira como a área de infraestrutura recebe as informações pertinentes ao modelo. Em geral, os dados sobre

parâmetros (principalmente demandas de carácter setorial) são enviadas de maneira fracionada para os responsáveis pelo planejamento das renovações. Existem casos em que áreas parceiras não enviam suas demandas, porque não sabem ainda o que deverá ser executado ou qual é seu orçamento disponível para o ano.

Tudo isso faz com que seja necessário ter um método de resolução que possa simular múltiplos cenários e no qual seja possível a inserção de informações de maneira rápida e eficiente. Para a necessidade da área, a solução da maneira como foi modelada até agora não é satisfatória. Nos próximos capítulos será tratada a questão da performance de maneira mais detalhada.

5 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo será abordada a heurística utilizada para resolver o problema dentro das restrições de negócio exigidas. Inicialmente será descrita a motivação para a construção do método de resolução heurístico. Em seguida serão apresentadas uma breve revisão bibliográfica sobre heurísticas e o racional de construção do método de resolução do problema estudado neste trabalho.

5.1 MOTIVAÇÃO

Como já foi citado no fim do capítulo anterior, a demora na seleção das agências é um problema forte para a solução encontrada, devido à realidade como a área recebe dados e tem necessidade de repriorizar suas decisões de renovação dentro do parque de agências.

Para fundamentar melhor o problema do tempo excessivo da resolução do modelo de programação linear inteira mista (PLIM) através de *What's Best* no VBA, foram feitos alguns testes de performance para o modelo com base no dados reais do trabalho. Na Tabela 23 pode-se ver a evolução do tempo de processamento com base no número de agências atribuídas ao modelo. Os teste foram realizados em um computador com sistema operacional Windows 10, processador Intel® Core™ M-5Y10c CPU @0.80GHz 999MHz com 8,00 Gb de memória RAM disponíveis.

Tabela 23 – Tempos de execução do modelo PLIM

Número de Agências	Tempo de resolução (segundos)
100	12
200	34
500	231
1000	1.690
2000	6.132
3000	11.760
4000	Mais de 20.000

Fonte: Elaboração própria

O problema avaliado possui exigências de performance e simplicidade, principalmente devido ao caráter dinâmico da entrada de informações. Essa necessidade está amplamente ligada à

maneira como os parâmetros são calculados para que possamos rodar o modelo de programação linear inteira mista.

O primeiro problema associado ao tempo de resolução do modelo está na maneira como a informação de outras áreas do banco são recebidas pela equipe estudando a seleção das renovações. Como estamos falando do contato e troca de informação com todas as áreas operacionais do banco (segurança, automação, regularização, *compliance*, etc.) a recepção da informação não é sincronizada. Grande parte dos dados exigidos para a priorização são recebidos de maneira escalonada, ao longo do período de planejamento e execução das atividades da área de infraestrutura.

Além disso, existem pedidos pontuais das áreas parceiras ao longo do ano, seja pela mudança de estratégia de operação, novas diretrizes ou até casos de urgência. Uma certa agência pode ser alvo constante de vandalismos ou tentativas de roubos, por exemplo. Desta maneira, é necessário que o modelo seja facilmente atualizado com novos dados e aplicado de maneira ágil.

Somado a esse fator temos um dilema associado à não exatidão dos dados. No momento atual, grande parte dos dados necessários para a solução ainda pode ser considerado de baixa precisão. Com o objetivo de sanar essas dificuldades, estão sendo desenvolvidas algumas iniciativas (em paralelo à execução deste trabalho) para melhorar a qualidade das informações pertencentes ao parque de agências. Entre elas podemos citar: Um melhor mapeamento dos equipamentos existentes nas agências, a estruturação de bancos de dados com informações mais detalhadas sobre as renovações que estão acontecendo, o redesenho do cadastro e requisição de demandas para a área. Desta maneira, espera-se que a solução final tenha flexibilidade suficiente para selecionar de maneira eficiente para se adaptar às novas informações que forem fornecidas a ele, reagindo de maneira dinâmica à maturação dos dados.

O tempo de execução do modelo com PLIM dificulta também a calibração dos parâmetros da solução. Em grande parte existe significativo esforço no cálculo da importância dos itens na área, porque essas comparações são recentes e seus valores ainda estão em processo de amadurecimento. Não é totalmente simples comparar a reforma, com alteração da estrutura civil, a dez diferentes renovações estéticas em agências da rede. Para que possamos chegar a uma comparação numérica (parâmetros de importância dos itens " s_{ij} " no modelo) é necessário

estabelecer algumas premissas de ponderação. Essas premissas podem variar dentro de alguns meses dadas as perspectivas e tendências do banco e sua área comercial. Existem momentos em que o direcionamento é total focado na satisfação de clientes, no qual a preservação estética das agências é fundamental. Em outros, porém, pode-se priorizar a regularização legal das agências para obtenção de certificações de acessibilidade por exemplo.

Tendo isso em vista, é importante que o método de cálculo dos número possa ser testado e seus resultados sobre a solução de priorização sejam avaliadas de maneira rápida, pois esse processo será feito de maneira iterativa.

Por fim, destaca-se uma mudança de paradigma da área quanto ao seu planejamento. Em anos passados, o planejamento era realizado para um horizonte anual, isto é, todas as obras do ano seguinte eram programadas no fim do ano anterior. A nova proposta é que esse planejamento seja feito de maneira mensal para um horizonte de 12 a 18 meses. Espera-se que assim, com uma reavaliação constante dos dados, a acurácia na seleção das agências que sofreram renovações aumente. No modelo antigo, algumas obras eram planejada e somente executadas 12 meses depois (planejadas em janeiro e executadas em dezembro, por exemplo). Neste meio tempo, podem acontecer eventos que tornem outras opções de renovação mais interessantes. Desta maneira, institui-se uma nova regra de planejamento mais dinâmica.

Por estes motivos, foi construída uma heurística com base nas referências bibliográficas levantadas. A diante será feita uma breve introdução à o funcionamento e utilidade de heurísticas de maneira geral e, após isso, serão abordadas soluções que podem ser adaptadas ao problema das agências.

5.2 INTRODUÇÃO À HEURÍSTICA

Nos próximos parágrafos será abordada brevemente a definição de “heurística”. Em seguida serão avaliadas, com base em pesquisas bibliográficas focadas, alternativas para a resolução do problema. Por fim será feita uma adaptação dos casos estudados para o problema sendo estudado neste trabalho.

5.2.1 BREVE INTRODUÇÃO A HEURÍSTICAS

De acordo com Nicholson (1971, *apud* Arenales *et al*, 2007), uma heurística “é um procedimento para resolver problemas por meio de um enfoque ‘intuitivo’, em geral racional, no qual a estrutura do problema possa ser interpretada e explorada inteligentemente para se obter uma solução razoável”.

Segundo Arenales *et al* (2007), heurísticas são uma ferramenta para a solução de problemas de alta complexidade computacional. Essa dificuldade pode ser efeito de um número muito elevado de variáveis ou uma relação de dependência complexa entre elas. Existem, ainda segundo ele, alguns motivos principais para a utilização de heurísticas na resolução de problemas:

- Situações em que o método exata não existe ou não é capaz de resolver o problema dentro das restrições de desempenho computacionais disponíveis;
- Situações onde a heurística é utilizada em conjunto com métodos de exatos, com é o caso do método “branch-and-cut”;
- Situações onde o tempo total necessário para a resolução do problema não representa ganhos significativos para o resultado do modelo em comparação com os resultados de heurísticas. A mesma justificativa pode ser dada para problemas em que a imprecisão dos dados faz com que a solução exata (método determinístico) não traga benefícios suficientemente, tendo em vista as incertezas da solução, em relação a métodos heurísticos.

Este trabalho está extremamente bem enquadrado neste último cenário. A solução exata (cujos tempos de processamento computacionais foram apresentados no início deste capítulo) é extremamente demorada para a confiabilidade dos dados que a área de infraestrutura do banco possui hoje. Além da dificuldade com os dados base, os cálculos e premissas que a área utiliza para calcular seus parâmetros ainda são relativamente incertos. Isso porque estes indicadores são relativamente novos e ainda precisam ser confrontados e calibrados. A solução exata não gera um valor expressivamente melhor que uma heurística mais rápida, que daria mais flexibilidade a seu operador.

Heurísticas trazem uma grande flexibilidade para a resolução do problema, lhe dando flexibilidade na incorporação de variáveis e restrições que seriam mais complexas de modelar (ARENALES *et al*, 2007). Por outro lado, além de não resultarem necessariamente no ótimo ou em uma solução factível, na maioria das heurísticas é difícil avaliar a qualidade da solução obtida (seu desvio em relação à solução ótima).

Para Arenales *et al* (2007) existem três tipos de heurísticas que se destacam:

- Heurísticas construtivas constroem suas solução gradativamente. A cada iteração do procedimento é adicionado um elemento da solução. Existe, em geral, uma lógica por trás da seleção deste próximo elemento focado no máximo benefício. Um exemplo aplicável ao problema da mochila descrito na bibliografia seria uma heurística gulosa, que a partir de uma mochila vazia, iria adicionando um novo item baseado na relação de valor por peso. Isso, em teoria maximizaria o valor contido na mochila. Não se garante a solução ótima, nem a factibilidade do resultado.
- Heurísticas de busca local têm como ponto de partida um resultado prévio. A partir dele busca-se uma solução “vizinha”, gerada por algum “movimento” definido na heurística. Caso o resultado deste movimento gere uma melhoria na solução final, admite-se essa nova vizinhança como o resultado vigente e busca-se uma nova solução vizinha. Executa-se iterações até que o critério de parada seja satisfeito.
- Metaheurísticas são uma variação mais complexa de heurísticas de busca local, que alteram seus critério de buscas por soluções vizinhas com base nos resultados obtidos previamente, sejam eles na última iteração ou em resultados mais antigos (“história de busca”). Essa “memória” da heurística têm como objetivo impedir que alguns resultados já conhecidos seja revisados, evitando o recálculo de destes resultados e focando esforços sobre regiões ainda não exploradas.

As principais heurísticas exploradas no modelo são heurísticas construtivas e de busca local. Na revisão bibliográfica do trabalho foi introduzida a solução do “problema da mochila compartilhada” apresentada por Marques e Arenales (2002) pode ser classificada como uma heurística construtiva, à medida que vai reduzindo o espaço amostral iterativamente através da seleção de “super agências”.

5.2.2 *FIX-AND-OPTIMIZE*

A ideia inicial para agilizar o processamento e seleção das renovações prioritárias nasceu de Marques e Arenales (2002). No artigo, que trata sobre a mochila compartilhada, é evidenciado o problema de performance para problemas que envolvem o tratamento de custos fixos. Os autores propõem uma heurística que faz seleções de ótimos localmente (dentro dos compartimentos) e reduz o espaço amostral do problema (número de itens candidatos a entrarem na mochila), facilitando o processamento dos custos fixos associados ao compartimento.

Na solução apresentada Marques e Arenales (2002) seleciona-se inicialmente os melhores itens dentro de cada um dos possíveis compartimentos, com base em suas restrições internas. Para um determinado peso máximo que o compartimento k consegue assumir, define-se a melhor combinação de itens que pode-se colocar no compartimento. Os itens escolhidos são chamados no artigo que aborda “super itens”. Após selecionados os melhores itens para cada um dos compartimentos, faz-se uma segunda priorização, onde são fixadas as variáveis dos itens não escolhidos em 0, isto é, não é permitido à heurística adotar os itens na solução final. Nesta última etapa, seleciona-se dentre os possíveis “super itens” quais formam o melhor resultado final.

A heurística proposta por Marques e Arenales (2002) traz pontos aderente às heurísticas de “fix-and-optimize” introduzidas por Helber e Sahling (2009) em seu artigo “*A fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem*”. No texto aborda-se o problema de dimensionamento de lote na indústria de manufatura, um problema que enfrenta um custo fixo extremamente representativo no mundo real. Para a indústria, o tempo de *setup*, isto é, a parada para trocar o produto produzido em uma linha é objeto de múltiplos estudos. Além de ter um alto custo direto de alteração dos parâmetros da linha de produção, o tempo gasto realizando estas modificações com a linha de produção parada representa um desperdício. Deseja-se neste tipo de problema minimizar os custos associados à parada (tempo e custos diretos). Para isso deve-se definir qual é o melhor planejamento de produção (quando produzir o que) e seus devidos *setups*.

A dificuldade da resolução de problemas com custo fixo através de PLIM (Programação linear inteira mista) está no tempo de processamento dos resultados. A dependência entre a necessidade de *setup* e quantidades produzidas causa uma dificuldade elevada de resolução do problema, que em geral requer métodos mais exigentes do ponto de vista de processamento como o método *Branch-and-Bound*.

Para resolver este impasse, Helber e Sahling (2009) propõem uma heurística iterativa que interage com o problema localmente (otimização local), mas mantendo uma visão global do problema. A cada iteração obtém-se um resultado igual ou melhor ao anterior.

Considere um modelo de PLI, com suas respectivas variáveis binárias, na sua forma matricial. Parte-se de um cenário qualquer que respeite as restrições do modelo (seja uma resolução prévia ou cenário base nulo), como o apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 – *fix-and-optimize* – Exemplo (Passo 1)

x_{ij}	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Define-se então um certo número de variáveis (com base na capacidade computacional) que serão otimizadas de maneira local. Na Tabela 25, estas variáveis estão destacadas de outra cor.

Tabela 25 – *fix-and-optimize* – Exemplo (Passo 2)

x_{ij}	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Para todas as variáveis não destacadas, fixa-se seu valor atual (originando o nome da heurística de “*fix-and-optimize*”), impedindo que o elas sejam alteradas (elas deixam de ser variáveis para que possamos otimizar apenas as variáveis em rosa). Em seguida, o modelo PLI é resolvido para as três variáveis em evidência, resultando em um novo cenário e solução para o problema (ver Tabela 26).

Tabela 26 – *fix-and-optimize* – Exemplo (Passo 3)

x_{ij}	1	2	3	4
1	0	1	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Podemos assegurar que o novo resultado é factível e a solução é igual ou melhor que o resultado anterior. Essa melhoria incremental é então feita novamente, mas desta vez com outro conjunto de variáveis locais, como é apresentado na Tabela 27. Destaca-se que na nova seleção das variáveis, é comum que se utilize variáveis que fizeram parte de iterações passadas, como é o caso de x_{13} no exemplo.

Tabela 27 – *fix-and-optimize* – Exemplo (Passo 1')

x_{ij}	1	2	3	4
1	0	1	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Otimiza-se então as variáveis destacadas com a visão geral do problema. Este processo iterativo é repetido até que o critério de parada seja atingido. O resultado da última iteração é considerado como a solução final.

A heurística, apesar de simples, é extremamente flexível, já que parâmetros como número limite de iterações ou tempo de processamento podem ser alterados para que a solução seja mais próxima ao ótimo do problema. Além disso, o número de variáveis que são liberadas (“não fixados” ou “janela de alteração”) pode ser alterado dependendo da dificuldade associada ao modelo. Um número menor de variáveis livres repercutirá de maneira positiva na capacidade de processamento do modelo, enquanto um número maior de variáveis aproxima o resultado final ao resultado ótimo (supondo um mesmo número de iterações). O artigo destaca a fração de variáveis livre sobre variáveis fixadas como uma boa relação da complexidade de resolução do modelo em relação à qualidade da solução final.

A seleção de quais variáveis devem ser fixadas não é necessariamente aleatória, aplica-se agrupamentos associados à utilização de recursos, tipos de produtos e tipos de máquinas no

artigo referenciado. Qual dos agrupamentos são recomendados varia do problema a ser resolvido e suas especificidades (tipo de indústria, produtos críticos e recursos-chave).

Para a solução do problema de priorização de agência, é possível adaptar as ideias introduzidas no artigo. Como não estamos tratando de um problema de dimensionamento de lote, a maneira como serão escolhidos os subgrupos a serem otimizados (ou as variáveis que não serão “fixadas”) terá que ser adaptada. Para isso será introduzido um conceito associado ao negócio e hierarquia comercial do setor comercial da empresa.

5.3 ADAPTAÇÃO DA HEURÍSTICA AO PROBLEMA DE AGÊNCIAS

O problema associado à aplicação do caso apresentado por Marques e Arenales (2002) está nas restrições utilizadas na seleção do “super itens” (itens dentro do compartimento). No problema da mochila compartimentada, existem restrições de peso inerentes aos próprios compartimentos, o que não é verdade no caso do problema de seleção de obras em agências. Os compartimentos tem um peso limite associado a cada um deles, o que torna possível determinar quais seriam as melhores opções de itens dentro de um compartimento. No caso do problema sendo tratado neste trabalho, as agências não apresentam uma restrição de capacidade interna associada a cada uma delas, existem apenas restrições de capacidade globais (orçamento, capacidade) que agem sobre o modelo. Desta maneira, não é possível simplesmente utilizar a heurística descrita no artigo.

Assim como a maioria de outros setores, a empresa estudada do setor bancário subdivide seus clientes em conglomerados menores, mais fáceis de serem monitorados e controlados. Apesar dessas subdivisões chegarem ao nível de municípios, a divisão das regiões geográficas dentro do Brasil é a de interesse no contexto deste trabalho (Sudeste, Sul, Nordeste, etc.).

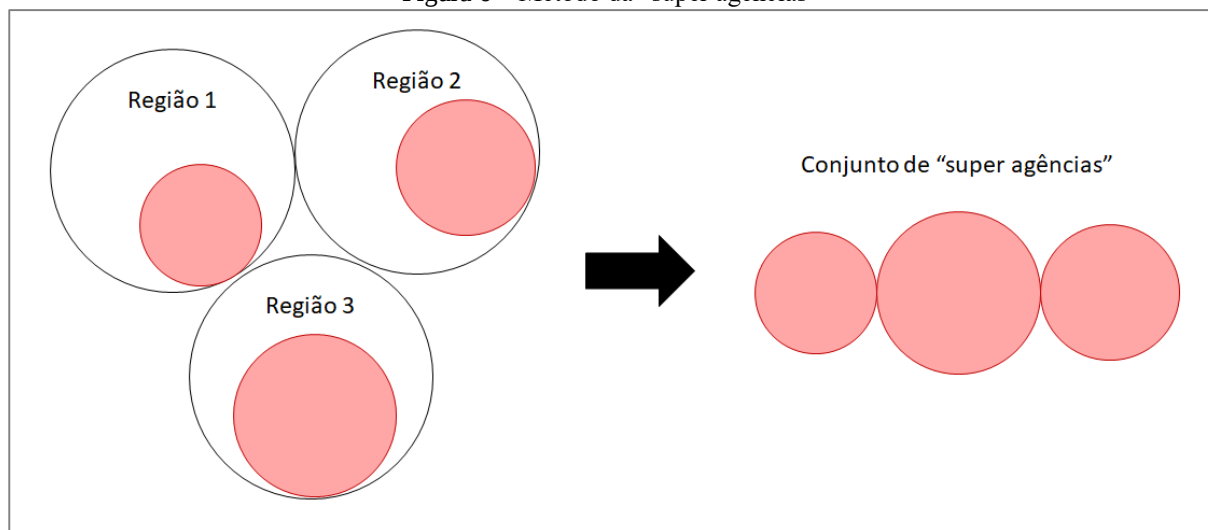
Como a área de infraestrutura tem um papel operacional dentro do contexto geral da organização, já que presta serviços às agências, ela acaba sendo refém de algumas disputas políticas internas dentro do banco. Como é sua responsabilidade escolher quais agências sofrerão renovações e reformas, em geral, evita-se a priorização de um número muito elevado de agências em uma região em detrimento de outras. Na solução sendo utilizada atualmente, já se contempla a separação das agências entre as zonas comerciais. Apesar de não ser uma restrição formal ao modelo proposto nos capítulos anteriores, essa condição é extremamente

adaptável à heurística que desejamos aplicar, com similaridades a discussões propostas nos artigos de Marques e Arenales (2002), quanto o de Helber e Sahling (2009).

Com separação das agências em zonas comerciais, podemos estipular um limite de orçamento e capacidade interna da equipe associado a cada uma delas. Esse limite nos possibilita escolher as “super agências” de cada uma das regiões, como foi proposto por Marques e Arenales (2002). A partir disso, podemos fixar (“fix”) as variáveis referentes às agências que não foram selecionadas como “super agências” dentro de suas regiões comerciais (as variáveis, apresentadas no Capítulo 4, associadas aos itens e visita às agências i são fixadas em $x_{ij} = 0$ e $V_i = 0$). A lógica para delimitar o orçamento dentro das regiões comerciais será abordado mais a diante.

O modelo PLIM é novamente resolvido utilizando o *software What's Best*, para selecionar o resultado final do modelo, dentro do conjunto de “super agências”. Uma representação gráfica deste método é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Método da “super agências”



Fonte: Elaboração própria

Para a utilização desta heurística é necessário definir alguns índices e parâmetros auxiliares ao modelo que servirão como auxiliares na seleção das agências:

Índices

R Cada **Região Comercial** pode ser identificada por um índice R único

Parâmetros

F_R É a proporção de agências dentro de uma região comercial R em relação ao número total de agências na rede como um todo.

A Flexibilização da restrição orçamentária e capacidade para seleção de “super agências” ou cenários fixos em regiões comerciais.

Desta maneira, quando forem preparados os primeiros cenários de otimização local (dentro das regiões comerciais). Os recursos de orçamento e capacidade interna disponíveis serão ajustados através da soma dos parâmetros $F_R + A$, que reflete a proporção de agências em relação ao número da rede, mais um ajuste, definido pelo usuário da heurística. Quanto maior o ajuste, maior será a dificuldade de processamento dos resultados parciais (dentro das regiões comerciais) e final (dentro as “super agências” selecionadas). Espera-se, porém, um resultado mais acurado em relação ao ótimo do modelo. A amplitude do orçamento para cada uma das regiões, que pode ser ajustada com o fator A , é extremamente similar à questão levantada no artigo sobre a heurística de “fix-and-optimize” (HELBER; SAHLING, 2009). O tamanho da “janela” (número de variáveis “não fixadas”) definido para cada iteração da heurística é um parâmetro crítico e de forte influência na qualidade e desempenho (tempo de execução) do modelo.

A criação de um limite orçamentário e de capacidade interna à região comercial assemelha-se aos limites de peso que os compartimentos das mochilas apresentavam no artigo de Marques e Arenales (2002). A criação desta nova condição possibilita a otimização local das regiões comerciais como se fossem compartimentos, permitindo a seleção das agências que trazem os melhores resultados ao modelo.

A seguir será descrito o passo-a-passo da heurística. Em seguida será feito um teste controlado para avaliar a eficácia da solução heurística em relação ao ótimo global. Espera-se identificar a

ordem de grandeza da melhora em relação ao processamento e o desvio do resultado da heurística em relação ao ótimo.

Tabela 28 – Passo a passo – Heurística construída

Passo 1	Se dentro de todas as regiões comerciais já tiverem sido selecionadas as combinações de “super agências”, prosseguir para o Passo 4. Caso contrário, iniciar uma nova seleção dentro da região comercial R ainda não avaliada.
Passo 2	Fixar as variáveis do modelo para as agências i fora da Região Comercial R em $x_{ij} = 0$ e $V_i = 0$. Os limites superiores de todas os recursos (orçamento e capacidade internas das equipes) são ajustados em relação ao seu total pelo fator $(F_R + A)$.
Passo 3	Resolver o modelo PLIM reduzido através do <i>software</i> de otimização <i>What's Best</i> para <i>EXCEL</i> . As agências selecionadas para visitas (independente dos itens que foram selecionados dentro delas) são adicionadas a um subconjunto de “super agências” (SA). Retornar ao Passo 1.
Passo 4	Fixar as variáveis do modelo para as agências i que não fazem parte do subconjunto de “super agências”, definidas anteriormente em $x_{ij} = 0$ e $V_i = 0$. Com os limites de recursos (orçamento e capacidade) totais definidos pela área, resolver o modelo PLIM com espaço amostral reduzido.

Fonte: Elaboração própria

5.4 AVALIAÇÃO DA HEURÍSTICA CONSTRUÍDA

Nos próximos parágrafos será introduzida a lógica utilizada para testar e avaliar a heurística construída. Deseja-se a magnitude do desvio em relação ao ótimo e a sensibilidade dos parâmetros definidos.

5.4.1 CENÁRIO DE TESTE

Com o intuito de avaliar a heurística acima, foi construído um cenário exemplo com 20 agências, cada qual com 5 itens a disposição para renovação. Como o modelo pode ser considerado reduzido em relação ao problema tratado neste trabalho, é possível se obter a

solução ótima e compará-la aos resultados gerados pela utilização da heurística construída. Para isso serão usados os mesmos parâmetros em ambos os casos.

Os dados para a avaliação do modelo podem ser encontrados no Anexo 1. Como podemos ver, no lugar das 6 regiões comerciais que são utilizadas no modelo completo, foram realizados testes apenas com 2 regiões ou compartimentos, para simplificar a análise.

Além de se testar os resultados obtidos, deseja-se também avaliar a magnitude do parâmetro específico da heurística (A) sobre o resultado. Como já descrito anteriormente e especificado no artigo de Helber e Sahling (2009), no algoritmo heurístico de *fix-and-optimize* quanto maior a janela de otimização, menor é o desvio do resultado da heurística em relação ao ótimo global. A mesma ideia é aplicada à solução heurística desenvolvida, pois a “janela de otimização” é flexibilizada pelo parâmetro A . Os testes de sensibilidade do fator A têm como função verificar se esse efeito pode ser sentido pelo resultado da heurística.

Para evitar algum tipo de tendência associada à qualidade dos dados da amostra obtida dos valores reais, foram gerados dados específicos para este teste com base em distribuições normais e funções que fornecem valores aleatório (função “*=rand()*”). O teste assemelha-se, desta maneira, a uma simulação de Monte Carlo sobre a solução, já que utiliza um número elevado de amostragem aleatórias como parâmetros da heurística. Mais adiante serão feitas algumas alterações para avaliar a sensibilidade da heurística em relação aos parâmetros inseridos.

5.4.2 ANÁLISE DO DESVIO DA HEURÍSTICA

Realizando-se as devidas comparações com um número total de 100 itens dentro de 20 agências distribuídas igualmente entre duas regiões, obteve-se os resultados da Tabela 29.

Tabela 29 – Teste da heurística com 20 agências

A	0	10%	20%
Número de AG selecionadas	5	4	5
Número de itens selecionados	13	13	13
% de AG iguais	80%	60%	100%
% de itens iguais	94%	92%	100%
Resultado	9,91	9,97	10,08
Desvio do resultado ótimo	1,6%	1,1%	0%

Fonte: Elaboração própria

O parâmetro *A* foi alterado consecutivamente para que pudéssemos avaliar seu impacto na obtenção dos resultados. Como podemos ver o desvio do resultado em relação ao resultado do modelo é extremamente baixo, dada a desvio do ótimo de, por volta de, 1,1% nos primeiros dois casos e 0% para o caso de *A* = 20%.

Como o espaço amostral de 20 agências é extremamente reduzido e suscetível à amostra de dados simulados, aplicou-se a solução desenvolvida para um número maior de agências. Foram parametrizadas 1000 agências com 5 itens dentro de cada uma delas para testar como a heurística se comportaria com um número mais elevado de dados. Novamente, os testes foram feitos com base em parâmetros simulados por uma distribuição normal. Os dados não são modificados entre os cenários comparados. Altera-se apenas a variável sendo testada (orçamento total no caso). Nestes testes o parâmetro *A* = 0, para que o maior desvio em relação ao resultado ótimo pudesse ser observado.

Tabela 30 – Teste da heurística com 1000 agências

Orçamento	30.000	15.000	10.000	5.000	1.000
Resultado ótimo (PLIM)	788,48	457,39	339,96	188,59	44,01
Resultado da heurística	788,24	457,00	339,53	188,24	43,45
Desvio do resultado ótimo	0%	0,1%	0,1%	0,2%	1,3%

Fonte: Elaboração própria

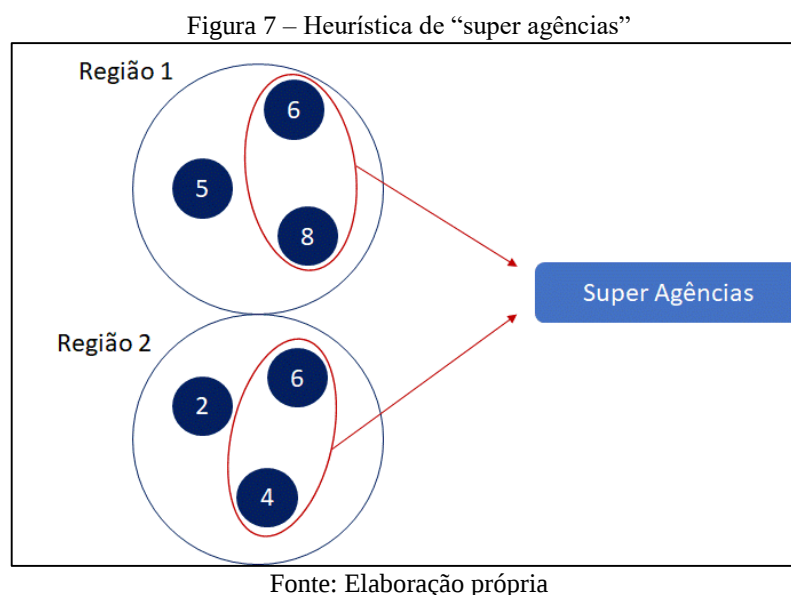
Como podemos ver na Tabela 30, não foi possível detectar um desvio significativo em relação ao resultado ótimo para um número mais elevado de agências, o que corrobora com a ideia de que em um espaço amostral onde se tem um número elevado suficiente de dados de qualidade similar, a heurística tem uma alta eficácia na seleção dos itens e agências que sofreram uma renovação.

5.4.3 ANÁLISE DE FRAQUEZAS

Como não foi possível avaliar a sensibilidade da distorção dos dados quando avaliados pela heurística por si só, foi executado um novo teste em que os parâmetros simulados foram manipulados, a fim de explorar possíveis “fraquezas” do método de resolução.

É importante lembrar que, para a seleção das “super agências”, é necessário ajustar os limites de orçamento e capacidade interna através do fator F . A atribuição deste fator pode ter efeitos sobre o resultado obtido pela solução, como a privação de agências que seriam consideradas “boas alternativas de renovação” em um panorama global, mas são menos eficientes quando comparadas às agências dentro de sua região comercial.

Podemos visualizar essa fraqueza na Figura 7, onde os círculos brancos representam as regiões comerciais e os círculos azuis representam agências. O número no interior das agências referem-se à importância da seleção de cada agência para renovação.



Como podemos ver na Figura 7, a agência de importância = 5 não é considerada uma boa opção de renovação dentro do contexto de sua região (Região 1), mas seria uma alternativa melhor quando comparada às agências escolhidas da Região 2 (com importância de 4 pontos).

Foi escolhida uma região comercial R' como alvo da distorção. Todos os seus parâmetros de importância (todos os itens de todas as agências desta região) tiveram seu parâmetro de

importância multiplicado por um novo fator L que varia de cenário para cenário. Do ponto de vista matemático, se todos os parâmetros de importância para os testes anteriores tinham sido simulados a partir de uma curva normal de média igual a 0,5 e desvio padrão igual 0,2, no novo cenário apenas uma região comercial R' teria os parâmetros de importância de seus itens distribuídos normalmente centrado em $0,5 \cdot L$ e com desvio padrão em 0,2. Em todos os testes $A = 0$, para que o máximo desvio pudesse ser observado.

Novamente, não foram alterados os parâmetros para a comparação dos resultados, com exceção do orçamento, para avaliar seu impacto sobre a solução. Para um desvio em uma região comercial, com fator $L = 1,2$ para essa região foram obtidos os resultados da Tabela 31.

Tabela 31 – Teste da heurística com 1000 agências com desvio de 20%

Orçamento	30.000	15.000	10.000	5.000	1.000
Resultado ótimo (PLIM)	820,67	476,76	353,72	192,57	44,40
Resultado da heurística	810,21	468,24	347,11	190,02	44,00
Desvio do resultado ótimo	1,3%	1,8%	1,9%	1,3%	0,9%

Fonte: Elaboração própria

Para um desvio em uma região comercial, com fator $L = 1,4$ para essa região foram obtidos os resultados da Tabela 32.

Tabela 32 – Teste da heurística com 1000 agências com desvio de 40%

Orcamento	30.000	15.000	10.000	5.000	1.000
Ótimo	855,39	500,05	371,10	203,27	47,52
Resultado	822,83	475,91	353,70	196,81	45,34
Desvio do resultado ótimo	3,8%	4,8%	4,7%	3,2%	4,6%

Fonte: Elaboração própria

Novamente podemos ver uma boa aderências dos resultados obtidos pela heurística em comparação ao resultado ótimo possível de ser obtido. Ressalta-se o desvio não justifica alteração ou busca por uma melhoria de desempenho da solução desenvolvida.

Além disso é importante destacar que a introdução de uma região com itens e agências mais atraentes para o modelo contribui para uma diminuição marginal na eficácia do algoritmo. A média de aderência do modelo com dados igualmente distribuídos (todas as importâncias de itens com mesma distribuição aleatória) demonstrou um desvio percentual em relação ao ótimo de 0,3% para os diferentes orçamentos propostos, já com a introdução de um desvio na média

de importância da ordem de 20% obtivemos uma acurácia da solução de 1,4%. Por fim, um desvio da média de 40% de magnitude gerou uma acurácia 4,2%.

Isso evidencia a flexibilidade do modelo sob a suposição de distribuição normal dos parâmetros que o alimentam. Em um primeiro momento de aplicação da solução, esta hipótese pode não se provar totalmente verdadeira, já que a qualidade das informações da área hoje é uma dos grandes focos de melhoria. Espera-se, com tudo, que as ações sendo tomadas hoje, em paralelo à execução deste trabalho, contribuam para melhoria deste panorama.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo serão feitas as avaliações dos resultados obtidos na heurística para o problema completo sendo estudado. Pretende-se analisar a qualidade da resposta que foi oferecida pela solução desenvolvida, com base em algumas métricas que serão apresentadas mais adiante. Além disso, a performance do método de resolução heurístico será criticada.

Antes de avaliar os resultados da heurística, precisamos estabelecer a qual valor ele será comparado. Mais que isso, é necessário estipular quais parâmetros (orçamento, por exemplo) serão utilizados para que a comparação seja justa. Esse tema será abordado nos próximos parágrafos.

6.1 ANÁLISE DA SOLUÇÃO ATUAL

Como o modelo de avaliação por itens e suas necessidades individuais é uma novidade para a área, parte de uma série propostas por este trabalho, é necessário estabelecer um critério de comparação para escolhas de agências feitas no passado. Para isso é primeiro “traduzir” as “escolhas” históricas da área para as variáveis discutidas neste trabalho.

Foram descritos neste trabalho uma série de “produtos” que a área oferece à rede de agências, como por exemplo uma reforma ou um “embelezamento”, como é possível ver na Tabela 34. Como estamos propondo uma desconstrução destes “pacotes” de obra, é necessário que a escolha de uma reforma, por exemplo, seja traduzida equivalentes aos itens disponíveis à solução construída. Para fazer essa comparação é necessário desconstruir as opções de renovação que a área fez para o ano de 2018 em itens. A Tabela 33 mostra um exemplo da relação de itens e pautas.

Tabela 33 – Exemplo de pautas - Retomado

Pauta	Estrutura (civil)	Troca de forro	Carpete	Redefinição de layout	Comunicação visual interna
Reforma Completa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Embelezamento			Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaboração própria

Imaginando que a área de infraestrutura tenha decidido pelas seguintes renovações, apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34 – Exemplo de resultado real

Agência	Programa
4	Embelezamento
7	Reforma Completa
9	Reforma Completa

Fonte: Elaboração própria

Para que seja possível estabelecer uma comparação com o resultado obtido na heurística, estabelece-se como premissa, que todos os itens que pertencem à pauta de “embelezamento” foram efetivamente escolhidos para a renovação dentro da agência 4, por exemplo. Desta maneira, teríamos para o exemplo acima o cenário proposto na Tabela 35, em termos comparáveis a heurística.

Tabela 35 – Exemplo de itens selecionados

Agência	Item Escolhido
4	Carpete
4	Redefinição de <i>layout</i>
4	Comunicação visual interna
7	Estrutura (civil)
7	Troca de forro
7	Carpete
7	Redefinição de <i>layout</i>
7	Comunicação visual interna
9	Estrutura (civil)
9	Troca de forro
9	Carpete
9	Redefinição de <i>layout</i>
9	Comunicação visual interna

Fonte: Elaboração própria

Aplicando esses valores ao modelo original, desenvolvido anteriormente é possível se obter um valor quantificado e comparável diretamente ao resultado que será obtido através da heurística, como pode ser visto na Tabela 36. Nesta Tabela, podemos identificar o resultado gerado para a função objetivo para cada um dos itens escolhidos na solução atual (na terceira coluna), além da importância dos itens setoriais para cada uma das agências priorizadas (quarta coluna). A soma destes valores nos retorna o resultado da solução atual.

Tabela 36 – Exemplo de resultado detalhado

Agência i	Item Escolhido j	s_{ij}	set_{ij}
4	Carpete	9	
4	Redefinição de <i>layout</i>	3	9
4	Comunicação visual interna	9	
7	Estrutura (civil)	2	
7	Troca de forro	8	
7	Carpete	9	0
7	Redefinição de <i>layout</i>	2	
7	Comunicação visual interna	4	
9	Estrutura (civil)	3	
9	Troca de forro	1	
9	Carpete	4	3
9	Redefinição de <i>layout</i>	8	
9	Comunicação visual interna	9	
Total Geral		83	Pontos

Fonte: Elaboração própria

6.2 CÁLCULO DO ORÇAMENTO DISPONÍVEL

Alguns parâmetros da solução desenvolvida foram definidos previamente (como a importância de cada item e seus devidos custos, por exemplo). O orçamento, porém, precisa ser calculado para que a solução desenvolvida possa ser comparada à solução real aplicada. Isso se dá, porque não necessariamente o resultado obtido pelo processo da maneira como é feito hoje respeitou a restrição de orçamento e capacidade estabelecidas pelo modelo. É necessário definir portanto qual foi o gasto total previsto para os itens selecionados para renovação em 2017.

Como o orçamento e capacidade das equipes internas (projeto executivo, *layout* e obras) são intercambiáveis (dado que é possível terceirizar mais capacidade) podemos estimar os limites de capacidade de maneira analítica (*bottom-up*), através de avaliações de produtividade e estudos de tempos e métodos simplificados (média histórica). O excedente consumido de capacidade é considerado como horas-extras contratadas.

Aplicando-se a mesma lógica utilizada para o cálculo do resultado da solução antiga, é possível definir qual é o valor orçado para os itens escolhidos na época da seleção (Tabela 37):

Tabela 37 – Exemplo de orçamento calculado

Agência i	Item Escolhido j	C_{ij}	CFV_i
4	Carpete	R\$ 1.416,00	
4	Redefinição de <i>layout</i>	R\$ 2.841,00	R\$ 2.068,00
4	Comunicação visual interna	R\$ 2.934,00	
7	Estrutura (civil)	R\$ 15.251,00	
7	Troca de forro	R\$ 6.157,00	
7	Carpete	R\$ 3.420,00	R\$ 3.796,00
7	Redefinição de <i>layout</i>	R\$ 1.943,00	
7	Comunicação visual interna	R\$ 4.696,00	
9	Estrutura (civil)	R\$ 22.167,00	
9	Troca de forro	R\$ 9.973,00	
9	Carpete	R\$ 1.500,00	R\$ 2.892,00
9	Redefinição de <i>layout</i>	R\$ 4.115,00	
9	Comunicação visual interna	R\$ 3.891,00	
Total Geral		R\$ 89.060,00	-

Fonte: Elaboração própria

A soma do orçamento associado aos itens e custo fixo de agências (calculados segundo o exemplo acima) e os custos de hora-extras contratadas (calculados pela diferença da capacidade interna calculada e necessidade para execução dos itens selecionados) foi considerado o orçamento final, utilizado para a comparação de resultados.

6.3 AVALIAÇÃO DE RESULTADO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através da utilização da heurística. Eles serão avaliados em comparação aos resultados reais obtidos no planejamento de 2018. Além disso, serão feitas algumas comparações dos valores da solução construída com os obtidos através da utilização do modelo PLIM, que se obteve pelo processamento longo e demorado da formulação definida anteriormente no trabalho (tempo de processamento de 4 horas).

As avaliações serão feitas em cima dos principais resultados obtidos. Destaca-se o resultado total obtidos pelo modelo PLIM, uso do orçamento (custo fixo, terceirização, custo de itens), número de horas terceirizadas e área internas mais sobrecarregadas ou ociosas. Serão avaliados também alguns indicadores considerados relevantes como o número de agências com visita planejada e número total de itens selecionados.

Para garantir que a heurística gere os resultados mais sensíveis possível (cenário pessimista) será assumido o parâmetro $A = 0$.

Como os dados deste trabalho se encontram sob proteção dos termos de confidencialidade serão apresentados apenas os resultados finais obtidos. Somado à questão dos dados serem privados a escolha das agências é composta por mais de 60.000 variáveis binárias, sendo difícil apresenta-las neste trabalho. Na Tabela 38 estão destacados principais os resultados a serem analisados.

Tabela 38 – Resultados gerais

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
Resultado Total	169,41	625,61	638,08
Tempo de Processamento (s)	-	699	12.064
Orçamento Total Consumido	143.197.846,21	143.197.505,66	143.197.550,63
Capacidade de Projeto Consumida	10.450,00	17.570,00	18.530,00
Capacidade de <i>Layout</i> Consumida	10.728,00	8.712,00	7.648,00
Capacidade de Obras Consumida	14.069,78	13.855,56	13.860,86
% Agências Selecionadas	44%	29%	31%
Número de Itens Selecionadas	9532	9583	9470

Fonte: Elaboração própria

Resultado total (Função Objetivo)

A seguir podemos ver o resultado final obtido nos métodos de seleção de renovações. Este valor é o que se deseja maximizar no modelo PLIM. Desta maneira, é o foco principal deste trabalho.

Tabela 39 - Comparação de resultados

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
Resultado total	169,41	625,61	638,08
% de desvio em relação ao ótimo	73,4%	2,0%	-
% Resultado em relação ao método atual	100%	369%	377%

Fonte: Elaboração própria

Como podemos ver na Tabela 39, existe uma grande variação positiva nos resultados da heurísticas e modelo de programação linear quando comparados ao método de seleção usado atualmente. Esse resultado é esperado. Como foi destacado no Capítulo 2, a área de infraestrutura não utilizava nenhum dado para qualificar a necessidade de renovação nos itens das agências. Também não era feita pela organização nenhuma avaliação segmentada por itens (no lugar das pautas). Isso faz com que o modelo PLIM e a heurística construída tenham maior flexibilidade na seleção do escopo de renovação, possibilitando também um resultado melhor.

Destaca-se também que esta comparação é sensível à forma como são calculadas as necessidades de cada um dos itens (parâmetros s_{ij}). Qualquer mudança na forma de cálculo ou qualidade dos resultados pode alterar os resultados obtidos nesta avaliação, acentuando ou diminuindo os valores obtidos.

Por fim, é interessante avaliar a eficácia de resultados da heurística em relação ao modelo. Como já havia sido proposto em avaliações no Capítulo 5, a heurística gera resultados próximos aos resultados obtidos pelo modelo de programação linear, com um desvio de 2,0%.

Tempo de Processamento

Outro fator importante de ser avaliado é o tempo de processamento da heurística em relação ao modelo PLIM. Neste caso não foi incluída a comparação com o método atual de seleção, pois ele é feito manualmente e não seria possível compará-lo diretamente com os métodos computacionais. Para que essa comparação fosse possível, seria necessário avaliar também o tempo de coleta e preparação de cada um dos indicadores, que são diferentes para o método atual de seleção.

Tabela 40 - Comparação de tempos de processamento

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
Tempo de Processamento	-	699,00	12.064,00

Fonte: Elaboração própria

Como podemos ver na Tabela 40, existe uma diferença significativa no tempo de processamento de cada uma das soluções. Por um lado, o modelo demora por volta de 4 horas para completar o seu processamento, enquanto a heurística demora em torno de 7 minutos.

Apesar de um processamento de 4 horas parecer pouco para um modelo de programação linear inteira, a heurística, com um desvio de apenas 2,0%, é muito mais flexível para a adaptação e maturação dos indicadores (principalmente seu método de cálculo).

Distribuição do Orçamento

Na Tabela 41 serão apresentados associados ao orçamento. Deseja-se entender se houve uma mudança muito drástica na utilização do orçamento, sugerindo mudanças na operação, como a um volume muito grande de horas de trabalho terceirizadas ou investimento muito alto em custos fixos (custo “non-working money”).

Tabela 41 - Comparação de utilização do Orçamento

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
% Orç. gasto com Itens	74,1%	74,3%	77,2%
% Orç. gasto com custo fixo	23,9%	22,5%	19,6%
% Orç. gasto com capacidade extra	2,0%	3,2%	3,2%
Orçamento Total	143.197.846,21	143.197.505,66	143.197.550,63

Fonte: Elaboração própria

Sob um ponto de vista mais geral, observando o orçamento total consumido pelas soluções, fica é evidente que todos utilizaram o máximo disponível. Era de se esperar que o método atual tivesse o maior orçamento já que foi através dele que foi definido o parâmetro para o modelo PLIM e Heurística de seleção.

O orçamento com itens manteve-se dentro de uma janela pouco relevante de variação para os três métodos (levando em consideração o seu valor total). Já o orçamento com custo fixo teve uma leve alteração entre as três soluções, o que poderia representar uma variação no número de agências que foram selecionados para visita ou uma seleção de agências com custo fixo mais baixo. Essa reflexão será retomada mais adiante, quando forem comparadas o número de agências e itens buscados para cada solução.

Por fim, destaca-se o aumento do orçamento gasto com contratação de capacidade extra. O aumento deste tipo de gasto observado para a heurística e, ainda mais para o modelo de programação linear inteira mista, indicaria a contratação externa como uma oportunidade de aumentar a capacidade total diminuindo o efeito de equipes que podem ser gargalos na execução de obra.

Concentração de itens em agências

Um ponto de importância da solução é a concentração ou dispersão demasiada das demandas. É de interesse do banco, sob uma ótica comercial de imagem da marca, que as agências sejam minimamente renovadas dentro de um período máximo de 4 anos. Para que isso seja possível, é necessário que no mínimo sejam feitas renovações em 25% (1/4) das agências a cada ano. Espera-se assim que o número de visitas planejada não fuja de maneira exacerbada desta razão. Esta relação é apresentada na Tabela 42. Podemos observar um percentual total da rede selecionado, além de avaliar o número médio de itens executado nas agências selecionadas (existem no total 19 itens à disposição para seleção).

Tabela 42 - Comparação do número de agências selecionadas

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
% das AG com visita	44%	29%	31%
Número médio de itens por AG	7,11	10,72	9,91

Fonte: Elaboração própria

Os dados novamente mostram uma forte semelhança entre o resultado ótimo e o resultado obtido através da heurística. Além disso, fica claro que esses dois resultados têm um direcionamento mais centralizador, selecionando um número menor de agências da rede para renovação. Isso pode ser explicado, principalmente pela utilização de indicadores de necessidade de renovação utilizados tanto no Modelo PLIM e na heurística. Com essas informações é possível escolher as agências de maneira preditiva, entendendo um estágio os maiores potenciais e problemas. O número de agências para o modelo atual, sugere que hoje se renova agências da maneira preventiva, tentando atuar em grande parte do parque comercial depois das agências serem selecionadas.

Utilização da Capacidade

É importante avaliarmos também a utilização das capacidades, segundo a definição de Francischini e Francischini (2017), individuais das equipes, com o objetivo de entender possíveis gargalos, ociosidade ou sobrecarga de trabalho que hoje são enfrentadas pela equipe interna. Na Tabela 43 é possível visualizar melhor qual foi o índice de utilização de cada uma das equipes em relação ao valor padrão contratado internamente. Já a Tabela 44 apresenta o número de horas extras contratadas para cada uma das áreas.

Tabela 43 - Comparação de utilização da capacidade interna

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
Capacidade de Projeto Consumida	87,1%	146,4%	154,4%
Capacidade de <i>Layout</i> Consumida	214,6%	174,2%	153,0%
Capacidade de Obras Consumida	93,8%	92,4%	92,4%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 44 - Comparação de horas extras contratadas

Método de solução	Método Atual	Heurística	Modelo PLIM
Capacidade Extra Projeto	0,00	5.571,83	6.530,00
Capacidade Extra de <i>Layout</i>	5.728,00	3.712,00	2.648,00
Capacidade Extra de Obras	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria

Corroborando com os valores indicando um aumento do número de horas extras contratadas de terceiros, pode-se identificar uma tendência da heurística e do modelo PLIM de contratação de horas para a equipe de projeto executivo. Já o método atual apresentou um maior gasto na contratação de horas extras da equipe de *layout*.

Vale lembrar que a capacidade de *layout* está diretamente associada ao número de visitas selecionadas na solução, enquanto a capacidade de projeto executivo é consumida na renovação de itens específicos. Por exemplo, a alteração de um carpete não exige revisão da planta arquitetônica, mas a alteração da estrutura civil ou elétrica do imóvel exige.

Esse resultado está diretamente ligado ao número de agências visitada para cada um dos métodos de resolução. A visita renovatória em um número maior exige mais capacidade de orçamento, enquanto a escolha por reformar agências de maneira mais completa (e mais estrutural) tende a necessitar de uma disponibilidade maior da equipe de projetos executivos, já que os itens mais complexos e exigentes acabam sendo priorizados.

6.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Nesta seção será avaliada a sensibilidade do modelo a variações dos principais parâmetros. Serão simuladas algumas situações que potencialmente venham a acontecer no contexto da área de infraestrutura. Os principais cenários são a alteração do orçamento, redução de gastos da área (tanto em funcionário como orçamento) e mudanças nos custos de contratação de

capacidade extra (mudanças na legislação trabalhistas). Todos esses cenários conversam diretamente com a situação e incertezas que hoje são vividas no país.

Alteração Orçamentária

A primeira análise a ser realizada está associada à alteração do orçamento. Como ele é acordado anualmente entre a área de infraestrutura e o núcleo financeiro e contábil do banco, é possível que de um ano para o outro sejam feitos cortes ou aumentos orçamentários. As variações serão mantidas dentro de uma margem de 30%, que já é considerado uma ajuste acentuado no orçamento. Na Tabela 45 podem ser vistas os efeitos sobre os resultados com a variação do orçamento.

Tabela 45 - Resultados gerais com variação de orçamento

Alteração % de Orçamento		-30%	-15%	0%	15%	30%
(1)	Resultado da Heurística	484,25	558,29	627,63	691,58	752,91
	% de variação do resultado	77%	89%	100%	110%	120%
(2)	% Orç. gasto com Itens	80%	80%	80%	79%	78%
	% Orç. gasto com custo fixo	19%	18%	17%	17%	17%
	% Orç. gasto com capacidade extra	1%	2%	3%	4%	5%
(3)	Capacidade de Projeto Consumida	116%	140%	162%	185%	205%
	Capacidade de Layout Consumida	109%	125%	139%	158%	172%
	Capacidade de Obras Consumida	66%	79%	92%	105%	118%
(4)	% das AG com visita	22%	25%	29%	32%	35%
	Número médio de itens por AG	10,56	10,63	10,67	10,50	10,48

Fonte: Elaboração própria

Destaca-se inicialmente, em (1), que nos cenários com menor orçamento uma maior eficiência (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017), dada pelo quociente do resultado da heurística pelo orçamento gasto, nos cenários com menor orçamento. Uma diminuição de 30% do orçamento teve um impacto menor que 30% sobre o resultado da heurística, por exemplo. O mesma lógica é válida para os casos de aumento do orçamento, onde o aumento no resultado não foi tão significativo quanto a variação de orçamento. Isso era de se esperar, pois as opções mais eficientes são preferidas na definição dos resultados.

Um segundo fator de interesse, apresentado em (2), é a aumento dos gastos com horas extras. A medida que o orçamento é cresce, as capacidades dos times internos passam a ser um gargalo

maior. O inverso também é válido, quando “corta-se” parte do orçamento, tende-se a contratar menos horas de terceiros. Esse efeito pode ser identificado novamente em (3), onde é possível identificar um aumento geral do consumo das capacidades (internas ou contratadas)

Por fim, em (4) é possível identificar que a variação do orçamento pouco afeta a média de itens que é selecionada para as agências. A diminuição e aumento do orçamento afeta principalmente o número de agências que são escolhidas para renovação.

De maneira geral, apesar de grave, não afetaria de maneira radical a operação da área, desde que fique claro para a gestão e área comercial, que o número total de agências renovadas será alterado.

Redução de gastos gerais (Orçamento e Capacidade Interna)

O segundo cenário a ser avaliado é o de redução de gastos gerais da área, incluindo o número de pessoas na área e orçamento disponível. Entende-se que esse cenário tem certa sobreposição com o feito anteriormente (alteração do orçamentária), deseja-se porém entender possíveis interações que a redução no quadro de funcionários teria na seleção de renovações.

Similarmente ao último teste, serão feitos ajustes graduais aos parâmetros igualmente (orçamento, capacidade de projetos, capacidade de obras e capacidade de *layout*), para que possamos avaliar a evolução do impacto sobre os resultados. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 46.

Tabela 46 - Resultados gerais com alteração de gastos

Alteração % de Gastos		-30%	-20%	-10%	0%	15%
(1)	Resultado da Heurística	474,75	526,97	578,34	627,63	696,64
	% de variação do resultado	76%	84%	92%	100%	111%
(2)	% Orç. gasto com Itens	78%	78%	79%	80%	80%
	% Orç. gasto com custo fixo	18%	18%	18%	17%	17%
	% Orç. gasto com capacidade extra	4%	3%	3%	3%	3%
(3)	Capacidade de Projeto Consumida	163%	161%	161%	162%	161%
	Capacidade de <i>Layout</i> Consumida	154%	151%	147%	139%	138%
	Capacidade de Obras Consumida	92%	92%	92%	92%	92%
(4)	% das AG com visita	22%	25%	27%	28%	32%
	Número médio de itens por AG	10,54	10,50	10,43	10,67	10,52

Fonte: Elaboração própria

De maneira análoga à variação pura do orçamento, novamente intensidade da alteração nos parâmetros não é igual à variação dos resultado final da heurística, como visto em (1). Atribui-se isso ao mesmo fator identificado anteriormente, opções as opções de renovação mais eficientes são priorizadas, fazendo com que o aumento dos recursos tenha progressivos retornos relativos decrescentes.

Quanto aos resultados observados em (2), diferentemente do que foi observado no cenário anterior, não houveram grandes variações na distribuição do orçamento. O percentual gasto com capacidade extra se manteve constante, já que os recursos como um todo foram ajustados simultaneamente, evitando que algum gargalo discrepante se forma-se.

Em (4) é possível, novamente, observar uma estabilidade no número médio de itens selecionados para as agências com visita renovatória planejada. Ao mesmo tempo, é destaca-se que o número de agências decresce gradativamente com o reajuste dos recursos, porém de maneira de maneira menos acentuada. Quando comparamos o cenário base (0% de ajuste) com a redução de 30% dos recursos, podemos identificar que houve apenas uma redução de 22,6% no número de agências visitadas (a queda do % de agências visitadas de 28% para 25%). Destaca-se que em (3), existe uma variação significativa apenas no consumo de capacidade de *layout*, pois ele é determinante para que se possa fazer uma visita renovatória da agência.

Alteração nos custos de contratação de terceiros

Por fim, será avaliado o cenário associado a alteração dos custos de contratação de capacidade extra. Dado que todos os cenários até o momento se utilizaram da utilização da capacidade extra, essa avaliação é importante para avaliar qual é a magnitude do impacto sobre os resultados obtidos.

Como foi feito nos cenários anteriores, o parâmetro de interesse foi variado gradualmente. Neste caso, serão variados os custos de cada hora extra contratada para as equipes de projeto executivo, *layout* e gestão de obras. Os resultados podem ser vistos na Tabela 47.

Tabela 47 - Resultados gerais com alteração dos custos de contratação

Alteração % de Custos de Contratação		-30%	-15%	-100%	15%	30%
(1)	Resultado da Heurística	632,29	629,22	627,63	625,27	623,31
	% de variação do resultado	101%	100%	100%	100%	99%
(2)	% Orç. gasto com Itens	80%	79%	80%	79%	79%
	% Orç. gasto com custo fixo	18%	17%	17%	17%	17%
	% Orç. gasto com capacidade extra	3%	3%	3%	3%	4%
(3)	Capacidade de Projeto Consumida	177%	169%	162%	156%	150%
	Capacidade de <i>Layout</i> Consumida	144%	142%	139%	139%	138%
	Capacidade de Obras Consumida	93%	93%	92%	92%	92%
(4)	% das AG com visita	29%	29%	28%	28%	28%
	Número médio de itens por AG	10,55	10,61	10,67	10,68	10,73

Fonte: Elaboração própria

Iniciando a avaliação por (1), podemos verificar uma variação extremamente insignificante nos resultados com para cada um dos casos apresentados. O mesmo pode ser dito para os resultados em observados em (2), existe uma variação um tanto marginal na utilização do orçamento.

Uma variação mais significativa pode ser observada na utilização das capacidades de cada uma das áreas em (3). Fica claro o aumento do consumo da capacidade de projetos, que é a mais sensível dentro dos casos avaliados.

Por fim, não podemos identificar nenhuma variação significativa em (4). Existe uma leve tendência de se renovar um maior número de agências quando o custo de contratação da hora extra é mais barato.

Avaliação final da sensibilidade da solução

Como pudemos observar nos últimos três cenários, a maior sensibilidade da solução desenvolvida, é a alteração do orçamento. Mais do que uma sensibilidade da heurística, o orçamento é um fator sensível para a área como um todo.

Quanto às capacidade internas, não se percebeu uma dependência tão grande. Isso se associa, principalmente, à opção da área de contratar horas extras para compensar qualquer tipo de alteração que venha a acontecer, seja na capacidade fixa interna ou alteração dos valores de contratação de terceiros. Como estes custos de terceirização são extremamente reduzidos em relação aos custos das obras (cerca de 3 a 5% do orçamento na maioria dos casos), qualquer distúrbio que venha a acontecer pode facilmente ser contraposto por uma fração mínima do orçamento gasto com as renovações.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu uma solução heurística para o problema de seleção do escopo de renovações dentro de cada uma das agências de uma rede bancária brasileira de grande porte. Foi possível obter uma solução viável, que refletisse o problema real sendo tratado e com resultados superiores ao método de solução em uso no momento. O problema de seleção solucionado assemelha-se ao problema da mochila, discutido ao longo do estudo. Tendo em vista as adaptações realizadas às soluções que foram utilizadas como referência (principalmente Marques e Arenales (2002) e Helber e Sahling (2009)), acredita-se que os métodos de solução podem ser aplicados a outros problemas.

Foi possível, com a solução, selecionar agências e escopos significativamente mais eficazes que o método de seleção atual. Esse melhoria de resultado discrepante está fundamentado na maneira manual e pouco orientada por indicadores do método em utilização. Além de atender as reais necessidades da rede de agências, evitando custos desnecessários e atendendo dificuldades de infraestrutura reais.

Para a área de infraestrutura, os resultados representam uma evolução inovadora nos métodos de trabalho em execução. A importância da coleta de dados e formação de indicadores que auxiliem na tomada de decisão e construção de soluções matemáticas ficaram extremamente explícitas o cliente e são hoje uma das prioridades e foco de desenvolvimento da área.

Quanto a evolução futura deste processo, destaca-se duas frentes principais de atuação. Em primeiro lugar, é importante que haja um amadurecimento da solução desenvolvida, principalmente do ponto de vista dos dados que formam os parâmetros utilizados. Para isso, é necessário que a qualidade dos dados coletados no presente sejam de cada vez precisos. Além disso, o racional de cálculo dos parâmetros utilizados deve ser questionado e comparado à realidade, a fim de que obtenha-se maior alinhamento entre a realidade das condições de infraestrutura das agências e os valores apresentados.

Em segundo lugar, é necessário que os conhecimentos obtidos através da solução e sua construção sejam expandidos horizontalmente no processo de renovação como um todo. Uma melhoria do planejamento das obras ao longo do ano é um próximo passo claro a ser tomado para evitar gargalos e ociosidade das equipes internas. Além disso, é de extrema importância

entender se as renovações selecionados pela solução desenvolvidas são de fato executadas. O *feedback* do processo para a solução é crítico para sua evolução e melhoria contínua.

Por fim, quanto às possíveis melhorias diretas que podem ser feitas ao modelo e heurísticas construídas, pode-se avaliar a introdução de restrições associadas à capacidade de equipes que não pertencem à área de infraestrutura, mas têm participação no processo de renovação. A introdução destas novas condições deve ser avaliada individualmente com cada uma das áreas e implementada gradativamente, para avaliar os impactos sobre a solução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANESSE, H. **Pesquisa Operacional: para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

WINSTON, W. L.; GOLDBERG, J. B. **Operations Research: applications and algorithms**. 4th. ed. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole, 2004.

GOLDBARG, E.; GOLDBARG, M.; LUNA, H. **Otimização Combinatória e Meta-Heurísticas: algoritmos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

FRANCISCHINI, A. S. N.; FRANCISCHINI, P. G. **Indicadores de Desempenho: Dos objetivos à ação – Métodos para elaborar KPIs e obter resultados**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.

HELBER S.; SAHLING, F. **A Fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem**. Hannover, Alemanha: Int. J. Production Economics. v. 123. p. 247 – 256. 2009.

TOLEDO, C. F. M.; ARANTES, M. S.; HOSSOMI, M. Y. B.; FRANÇA, P. M.; AKARTUNALI K. **A relax-and-fix with fix-and-optimize heuristic applied to multi-level lot-sizing problems**. New York, USA. J Heuristics. v. 21. p. 687 – 717. 2015.

MARQUES, F.; ARENALES, M. **O problema da mochila compartimentada e aplicações**. São Carlos, SP: Pesquisa Operacional. v. 22. p. 285 – 304. 2002.

ZANAKIS, S.H.; EVANS, J. R.; VAZACOPOULOS, A. A. **Heuristics methods and applications: A categorized survey**. North-Holland, Holland. European Journal of Operational Research. v. 43. p. 88 – 110. 1989.

BANCO DO BRASIL S. A. **Demonstrações contábeis referente ao ano contábil 2017**. São Paulo, SP. 2017

ITAÚ UNIBANCO S.A. **Demonstrações contábeis referente ao ano contábil 2017**. São Paulo, SP. 2017

BRASESCO S.A. **Demonstrações contábeis referente ao ano contábil 2017**. São Paulo, SP. 2017

SANTANDER S.A. **Demonstrações contábeis referente ao ano contábil 2017**. São Paulo, SP. 2017

Quantas são e como se distribuem as agências bancárias no brasil. NEXO JORNAL. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/grafico/2018/03/29/quantas-são-e-como-se-distribuem-as-agências-bancárias-no-Brasil.html>>. Acesso em: 4 ago. 2018.

Por que o Itaú decidiu formar cientistas de dados. INOVA.JOR. Disponível em: <<http://www.inova.jor.br/2018/10/05/itau-cientistas-de-dados/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

Pesquisa FEBRABAN de tecnologia bancária 2018. FEBRABAN. Disponível em: <<http://www.ciab.com.br/download/researches/research-2018.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

Na era digital, agência bancária ‘encolhe’. ESTADÃO. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,na-era-digital-agencia-bancaria-encolhe,70002353132>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

SEPULVEDA, C. B.; **Resolution of a multi-project scheduling with resource availability and eligibility constraints through optimization techniques.** São Paulo, SP: 2016.

What's Best version 15.0 user manual. LINDO. Disponível em: <<https://www.lindo.com/downloads/PDF/WB.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.