LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

Conversão de Escolas Estaduais Regulares em Escolas Técnicas: Uma Abordagem na Região Metropolitana do Rio de Janeiro via Programação Inteira

Almir Antônio Monteiro Júnior
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
Universidade Federal do Rio de Janeiro
amonteirojr@cos.ufrj.br

Enzo Fernandes Vieira
Escola Politécnica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
enzofv.20221@poli.ufrj.br

Vanessa de Almeida Guimarães
Instituto COPPEAD de Administração
Universidade Federal do Rio de Janeiro
vanessa.guimaraes@coppead.ufrj.br

Pedro Henrique González
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
Universidade Federal do Rio de Janeiro
pegonzalez@cos.ufrj.br

RESUMO

Nos últimos anos, houve um crescente interesse em cursos de nível técnico no Brasil. Há, inclusive, ações do governo federal para aumentar a oferta destes cursos, como a criação de novos *campi* de instituições que os ofertam. No entanto, é necessária uma avaliação das empresas presentes em cada região, com o intuito de ofertar cursos que possuam relação com as atividades exercidas, visando facilitar a inserção dos egressos no mercado de trabalho. Este trabalho propõe um modelo de programação linear inteira para sugerir escolas regulares que poderiam ser transformadas em escolas técnicas, com base nas distâncias para bairros e agrupamentos empresariais nas proximidades. Experimentos são executados envolvendo a região metropolitana do Rio de Janeiro e a capital fluminense, onde é possível avaliar sob diferentes pontos de vista quais seriam as melhores escolhas de escolas e categorias de cursos ofertados.

PALAVRAS CHAVE. Localização de Facilidades, Ensino Técnico, Programação Inteira.

AdP&ED – PO na Administração Pública e Educação, SE-CRIS

ABSTRACT

In the last years, a crescent interest in technical courses occurred in Brazil. There are even measures from the federal government to improve access to these kinds of courses, including creating new campi to offer them. However, there is a need to evaluate the companies in the neighborhood, aiming to offer courses related to their activities, to smooth the transition and help the graduates find a job. This work proposes a linear integer programming model to suggest regular schools that could be transformed into technical schools, based on their distances to neighborhoods and clusters of companies. Experiments were run in data from the metropolitan area of Rio de Janeiro and the city of Rio de Janeiro, and their results made it possible to evaluate from different points of view which would be the best schools to convert and which kind of courses they could offer.

KEYWORDS. Facility Location, Technical Education, Integer Programming.

AdP&ED – OR in Public Administration and Education, SS-CRIS

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

1. Introdução

Nos últimos anos, tem crescido a procura por qualificação profissional através de cursos de nível técnico. Com a possibilidade de ser obtida até mesmo paralelamente ao ensino médio regular, este tipo de qualificação tem verificado aumento no número de matrículas, segundo o Censo Escolar realizado anualmente pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Nos últimos 10 anos, as matrículas em educação técnica de nível médio cresceram 20,43%, saltando de 1.886.167 em 2014 para 2.271.607 em 2023 [Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2023]. Além disso, destaca-se o crescimento da participação da educação pública nestas estatísticas, pois em 2014 o setor público respondia por 48,4% das matrículas, em contraste aos 54,4% de 2023 [Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2023]. É importante ressaltar também o direcionamento de políticas públicas para o fortalecimento desta modalidade de ensino. Nas duas últimas décadas, levando em conta apenas a rede federal de ensino, foram criadas mais de 500 novas unidades de ensino, que ofertam diferentes cursos de nível técnico, integrados ou não ao ensino médio [Ministério da Educação, 2018]. No início do presente ano, inclusive, foi anunciada pelo governo federal a criação de 100 novos *campi*, por todo o Brasil, para aumentar a oferta de vagas desta modalidade [Ministério da Educação, 2024].

Contudo, a oferta de cursos preferencialmente deve estar ligada à vocação da localidade na qual a instituição está ou será inserida. Do contrário, o egresso terá dificuldades em se inserir no mercado de trabalho, o que tornará o curso ofertado irrelevante, pois não estará atingindo o seu principal objetivo, de oferecer novas oportunidades e acesso à ciência e tecnologia à comunidade [Ministério da Educação, 2018]. Portanto, além de toda a análise social para a definição dos locais de inserção de novos campi, se faz necessário um estudo adicional que identifique se há e em que ramo atuam as empresas nas proximidades.

Este trabalho visa analisar, dado um conjunto de instalações públicas de ensino regular de nível médio, quais poderiam ser utilizadas para a oferta de cursos de nível técnico, levando em conta agrupamentos de empresas presentes nas proximidades. Esta conversão deve respeitar um percentual máximo, pré-definido com base no número de instituições de ensino presentes na área sob análise, além de balancear as relações de distância entre bairros e escolas e escolas e agrupamentos empresariais, onde o aluno poderia realizar atividades práticas e/ou de estágio. Para tanto, um modelo de programação linear inteira é proposto, e cenários diversos são avaliados.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2, trabalhos similares encontrados na literatura são analisados, destacando suas semelhanças e diferenças com nossa proposta. Na Seção 3, a metodologia empregada é detalhada. Na Seção 4, os experimentos computacionais são executados e seus resultados, analisados. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões do trabalho, além de sugestões de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção, abordamos trabalhos semelhantes encontrados na literatura, que possuam aderência de tema ou metodologia com a pesquisa desenvolvida.

Em relação a trabalhos voltados à alocação de alunos, podemos citar a pesquisa desenvolvida por Polino et al. [2023], em que a oferta de *workshops* para alunos de escolas primárias foi abordada como um problema de localização de facilidades bi-nível, onde o nível superior se relaciona com a minimização dos custos de abertura e de alocação de estudantes, enquanto o nível inferior refere-se à otimização das preferências globais dos estudantes em relação aos *workshops* oferecidos. Os autores abordam o problema de formas distintas, com reformulação e duas metaheurísticas. Relatam que uma das metaheurísticas, utilizando um procedimento de *path-relinking*, obteve os melhores resultados. Também destacam o sucesso do procedimento em um cenário real, onde o problema foi resolvido de forma eficiente.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

Com foco na expansão da rede de escolas públicas no estado do Amazonas, Xavier et al. [2020] fizeram uso de critérios populacionais e sociais e apresentaram três modelos de localização (P-mediana, P-centro e P-dispersão) em três variações diferentes, priorizando índice de desenvolvimento humano, cidades com maiores populações ou ambos. Os autores utilizaram um algoritmo genético e alcançaram os melhores resultados com o modelo baseado em P-mediana.

Outro trabalho focado na definição de locais de instalação de escolas públicas primárias foi desenvolvido por de Armas et al. [2022]. Esta pesquisa teve como intuito definir alocação ou realocação de escolas em áreas urbanas, focado em países em desenvolvimento. Para tal, os autores propuseram um modelo de cobertura e um *framework* para auxiliar na análise. A abordagem proposta foi aplicada a um estudo de caso em uma cidade mexicana, provando-se bastante flexível, segundo os autores.

Neste mesmo sentido, o trabalho desenvolvido por Castillo-López e López-Ospina [2015] apresentou um modelo para localização e modificação da capacidade de escolas, visando diminuir desigualdades em áreas rurais do Chile. A abordagem ao problema foi feita através da metaheurística Busca Tabu, alcançando o valor ótimo em uma instância com 10 regiões e melhorando significativamente o resultado, sem alcançar o ótimo, em uma instância com 45 regiões. Segundo os autores, a metodologia proposta se mostrou eficiente e bastante flexível.

Autores	Método Exato	Relação de Bairros/Escolas	Relação de Escolas/Empresas	Considera Distâncias	Considera Tempos
Polino et al.	X	X			
Xavier et al.		X		X	
de Armas et al.	X	X		X	
Castillo-López e López-Ospina		X			X
Nosso trabalho	**X**	**X**	**X**	**X**	

Tabela 1: Comparação entre o trabalho desenvolvido e trabalhos relacionados. Este trabalho utiliza-se de um método exato para a resolução do modelo proposto, considerando as relações bairros/escolas e escolas/agrupamento de empresas, por meio da distância entre esses pares.

Como os trabalhos citados nesta seção e resumidos pela Tabela 1 puderam mostrar, o uso de técnicas de otimização para resolver problemas relacionados à educação é recorrente, sobretudo no que diz respeito à localização de escolas e alocação de estudantes. Portanto, o trabalho desenvolvido neste artigo mostra-se em consonância com as investigações sobre o tema e diferencia-se por lidar não apenas com a relação dos estudantes às escolas, mas também com o vínculo entre as escolas e os agrupamentos empresariais. Esta conexão visa a integração entre a instituição de ensino e o mercado de trabalho, com o intuito de facilitar a absorção de egressos, cumprindo assim o papel social a que se propõe quando da oferta de cursos. Destaca-se também a abordagem através de um modelo de programação linear inteira, diferente dos trabalhos similares, que utilizam, em sua maioria, metaheurísticas para atacar o problema. Outro diferencial diz respeito à ausência de trabalhos neste sentido, principalmente levando em conta a realidade brasileira.

3. Metodologia

Esta seção detalha a metodologia utilizada neste trabalho. Na Seção 3.1, o modelo matemático proposto é apresentado e detalhado. Na Seção 3.2, o estudo de caso é definido, assim como suas premissas. Por fim, na Seção 3.3, o processo de aquisição e tratamento dos dados necessários é detalhado.

3.1. Modelo de Conversão de Escolas Regulares em Escolas Técnicas

O problema apresentado na Seção 1 pode ser modelado como um problema de otimização, baseando-se em uma classe de problema conhecida por Problemas de Localização de Facilidades

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

[Celik Turkoglu e Erol Genevois, 2019]. Dado um número N de escolas para serem convertidas (que pode ser definido como um percentual das escolas disponíveis), os bairros na área sob análise devem ser atendidos pelas candidatas selecionadas, sendo que cada bairro deve ser vinculado a apenas uma instituição de ensino. Além disso, a capacidade de atendimento de cada escola não pode ser excedida, assim como a capacidade de "absorção" de cada agrupamento de empresas. Outro ponto importante neste problema é que as distâncias entre os bairros de domicílio dos alunos, a escola e o local em que eles exercerão as atividades práticas devem ser razoáveis, para permitir este deslocamento diário. Desta forma, com base nestas restrições e objetivo apresentados, o modelo de programação linear inteira a seguir pode ser definido para abordar o problema em tela:

$$\min \quad \alpha \sum_{i \in E} \sum_{j \in B} d_{ij} x_{ij} + \beta \sum_{i \in E} \sum_{k \in I} \mathcal{D}_{ik} p_{ik} \tag{1}$$

$$\sum_{i \in E} y_i = N \tag{2}$$

$$\sum_{i \in E} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in B \tag{3}$$

$$\sum_{j \in B} w_j x_{ij} \leq C_i y_i \qquad \forall i \in E \tag{4}$$

$$\sum_{k \in I} p_{ik} = y_i \qquad \forall i \in E \tag{5}$$

$$\sum_{i \in E} p_{ik} \leq W_k \qquad \forall k \in I \tag{6}$$

$$p_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in E, k \in I \tag{7}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in E, j \in B \tag{8}$$

$$y_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in E \tag{9}$$

onde os parâmetros d_{ij} referem-se à distância entre a escola i e o bairro j, enquanto x_{ij} é uma variável binária que define se a escola i atende o bairro j. Por sua vez, os parâmetros $\mathcal{D}_{ik}$ referem-se à distância entre a escola i e o agrupamento de empresas k, sendo p_{ik} uma variável binária que indica se a escola i é atendida pelo agrupamento empresarial k. Outra variável binária é y_i, que aponta se a escola i foi selecionada para ser convertida ou não. Tratando das demandas e capacidades, temos w_j, que se refere à demanda do bairro j, C_i, que define a capacidade de atendimento da escola i, e W_k, responsável por apontar a capacidade de absorção de escolas do agrupamento empresarial k.

A Função Objetivo 1 define que a soma das distâncias entre os pares bairro/escola e escola/empresa devem ser minimizadas. Os parâmetros α e β permitem que a importância destes dois valores seja ajustada de acordo com o cenário que se deseja estudar, sendo α um valor entre 0 e 1 e $\beta = 1 - \alpha$. A Restrição 2 exige que o número de escolas abertas seja igual ao valor predefinido para o parâmetro N. A família de restrições 3 define que cada um dos bairros deve ser atendido por apenas uma escola, e todos os bairros devem ser atendidos. A família de restrições 4 impõe que a soma das demandas dos bairros atendidos por uma escola não pode ser maior que sua capacidade de atendimento (por exemplo, o número máximo de matrículas), enquanto a família de restrições 5 impõe que cada escola escolhida para ser convertida em escola técnica deve estar vinculada a um agrupamento empresarial. Por fim, a família de restrições 6 define que a quantidade de escolas relacionadas a um agrupamento de empresas não pode ultrapassar a capacidade daquele agrupamento. As famílias de restrições 7, 8 e 9 referem-se ao domínio das variáveis de decisão do modelo, sendo todas binárias.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

3.2. Estudo de Caso

Para a avaliação do modelo proposto, definimos um estudo de caso baseado na região metropolitana do Rio de Janeiro. Esta região, definida inicialmente pela Lei Complementar nº 20/1974 e alterada pela última vez pela Lei Complementar nº 184/2018, é composta atualmente por 22 municípios no entorno da cidade do Rio de Janeiro: Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Petrópolis, Queimados, Seropédica, São Gonçalo, São João de Meriti, Tanguá, Cachoeiras de Macacu e Rio Bonito. Esta escolha se deu pela importância da referida região nos cenários estadual e nacional, assim como pela quantidade de novos *campi* de escolas técnicas que a região receberá na nova expansão do ensino técnico anunciada pelo governo federal. Dos 6 novos *campi* previstos para o estado do Rio de Janeiro, 5 serão alocados em cidades que compõem a região (dois na cidade do Rio de Janeiro, além das cidades de Magé, Belford Roxo e São Gonçalo). Apenas Teresópolis, na região Serrana, não faz parte da região metropolitana e receberá um novo *campus* [Ministério da Educação, 2024].

A respeito dos cenários de avaliação, quatro diferentes abordagens serão analisadas. O primeiro cenário consiste na criação de agrupamentos empresariais em cada bairro que possuir uma empresa, em toda a região metropolitana do Rio de Janeiro. O segundo cenário é similar, porém a análise é realizada apenas na cidade do Rio de Janeiro. No terceiro e no quarto cenários, são permitidos vários agrupamentos por bairro, criados com base no segmento de atuação de cada estabelecimento. Os valores de α e β foram definidos como 0,25 e 0,75, respectivamente. Esta escolha se deu pelo fato de que a quantidade de distâncias entre os diversos bairros e escolas é sempre superior à quantidade de distâncias entre escolas e agrupamentos empresariais. Análises complementares, com outras combinações de percentuais, não resultaram em diferenças significativas nos resultados, logo as análises destes cenários foram descartadas e não serão discutidas. Em relação ao número de escolas convertidas, foi assumido para este estudo um valor de 10% do total de escolas disponíveis.

3.3. Coleta e Processamento de Dados

Definido o estudo de caso e suas premissas, os dados necessários para sua execução devem ser adquiridos e preparados para uso. Os dados geográficos e populacionais da região sob estudo foram adquiridos da base de dados do Censo 2010, executado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A utilização destes dados se justifica pelo fato de que os dados do último censo, de 2022, não foram totalmente divulgados até o momento, principalmente os dados completos das malhas censitárias atuais, que servem de fonte para a criação dos mapas e delimitação dos locais sob análise. Recuperados os dados das 22 cidades definidas na Seção 3.2, que compõem a região metropolitana do Rio de Janeiro, os setores censitários foram agrupados em bairros, ou distritos, quando aquela granularidade não estava disponível. Neste estudo, todos serão denominados "bairros", pois não há diferença prática para o desenvolvimento das análises. Os pontos de referência para calcular as distâncias foram definidos com base no centroide do setor censitário mais populoso de cada bairro. Em relação às demandas, foi considerado o valor de 0,29% da população de cada um deles. Este valor foi definido com base nos registros de matrículas no ensino técnico do último censo escolar na região sob análise, em relação à população total.

À respeito das escolas disponíveis, os dados foram recuperados do Catálogo de Escolas do INEP[1]. Desta relação, foram utilizadas apenas escolas de grande porte (no mínimo 500 matrículas) pertencentes à rede estadual. Estas decisões são justificadas pelo fato desta esfera administrativa ser a responsável pela maior fatia das instituições de ensino de nível médio na rede pública [Instituto

[1] https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/catalogo-de-escolas

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2023], além do fato de que pode não ser interessante a conversão de instituições de ensino de porte mais baixo. O esforço de contratação de pessoal e outros trâmites necessários para a mudança podem não ser viáveis se comparados à posterior baixa oferta de vagas. Para a definição da capacidade de atendimento de cada escola, o número de matrículas informado no último censo escolar foi considerado. A Figura 1 mostra a distribuição das unidades de ensino estaduais selecionadas na região analisada, em um total de 372 escolas.

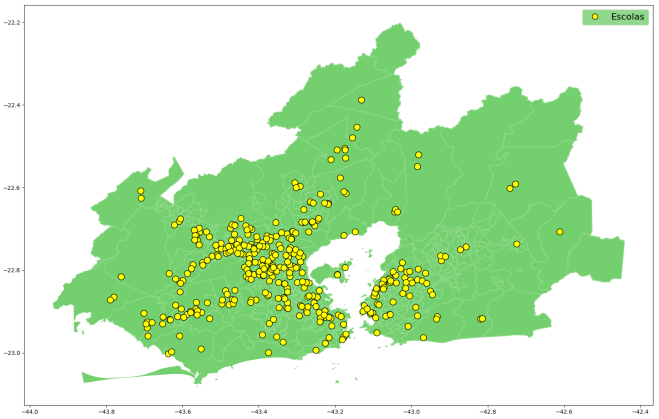


Figura 1: Instituições de ensino públicas estaduais de grande porte da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Em relação às empresas, a fonte das informações foi o catálogo do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ) disponibilizado pela Receita Federal do Brasil[2]. Para o seu georreferenciamento, visando o posterior cálculo de distâncias, o CEP presente nos registros foi utilizado para recuperar a localização geográfica aproximada da empresa, com base em seu endereço. De posse destes dados, um agrupamento de empresas dentro de um mesmo bairro foi realizado, e seu centroide foi utilizado como ponto de referência. Cabe ressaltar que este procedimento se refere aos dois primeiros cenários citados na Seção 3.2. Para os outros, a única mudança é em relação à forma de agrupamento, agora também levando em conta a principal atividade comercial das empresas, e não apenas seu bairro. Para a definição da capacidade de cada agrupamento, foi considerada a seguinte fórmula: $\frac{\text{empresas no agrupamento}}{\text{número de escolas convertidas}}$.

4. Experimentos Computacionais

Os experimentos computacionais foram executados em um computador equipado com um processador AMD Ryzen™ 5 5600G operando a 3.9 GHz e 32GB de memória RAM. Foi utilizado um ambiente Python 3.10 instalado no sistema operacional Windows 11, e o *solver* utilizado foi o IBM CPLEX 22.10, em conjunto com a biblioteca Python DOCplex. Os experimentos foram executados utilizando os valores de parâmetros definidos na Seção 3.2 e os resultados serão analisados a seguir.

4.1. Um Agrupamento por Bairro

Inicialmente, foi considerada para a criação dos agrupamentos empresariais apenas a localização espacial de cada empresa. Logo, cada bairro que possuir ao menos uma empresa em seu território possuirá também um agrupamento empresarial. Nesta abordagem, um total de 597 agrupamentos de empresas foi identificado, para um total de 641 bairros, na região metropolitana do Rio de Janeiro. As Seções 4.1.1 e 4.1.2 apresentam, respectivamente, as análises dos resultados deste experimento na região metropolitana do Rio de Janeiro e na capital fluminense.

[2] `https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados`

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

4.1.1. Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Aplicando o experimento proposto à região metropolitana do Rio de Janeiro, trabalhamos com a conversão de 37 escolas, 10% das 372 instituições de ensino estaduais disponíveis. O objetivo foi atender toda a demanda calculada para a região, conforme definida na Seção 3.3. Das 37 escolas selecionadas para serem convertidas, o Colégio Estadual Visconde de Itaboraí, em Itaboraí, se destacou com o maior número de localidades atendidas, 44 bairros/distritos. Em relação à maior média de distâncias para os bairros que atende, o CIEP 472 Cândido Portinari, em Petrópolis, foi o destaque, com 13,5 quilômetros. A maior distância percorrida seria de estudantes do bairro da Posse, que precisariam se deslocar por 20,4 quilômetros para chegar à escola. Por outro lado, os moradores de Itaipava, na mesma cidade, percorreriam apenas 6 quilômetros para chegar à unidade de ensino.

Analisando a utilização da capacidade como um todo, quatro escolas merecem destaque: Colégio Estadual Fernando Figueiredo, em Duque de Caxias, CIEP 113 Professor Waldick Pereira, em Nova Iguaçu, Colégio Estadual Paulo de Frontin e Colégio Estadual Jornalista Tim Lopes, ambos no Rio de Janeiro. Todas elas obtiveram taxa de utilização (demanda/capacidade) acima de 99%. Juntas, elas atendem 63 bairros nas cidades de Duque de Caxias, Magé, Nova Iguaçu e Rio de Janeiro. Das 37 escolas selecionadas, 17 delas operam acima de 80% da capacidade, chegando a 32 escolas, se considerarmos a utilização de ao menos 50% da capacidade.

Ao avaliar as relações entre escolas e agrupamentos empresariais, o resultado mostra que cada agrupamento ficou responsável por apenas uma escola. Logo, 37 agrupamentos foram utilizados, sendo a distância mínima de deslocamento de 77 metros, entre o agrupamento empresarial do bairro Engenho do Mato, em Niterói, e o CIEP 448 Ruy Frazão Soares, no mesmo bairro. A distância máxima, de 6,4 quilômetros, ficou por conta da relação entre o agrupamento empresarial do bairro Duques, em Tanguá, e o CIEP 252 João Baptista Caffaro, no Centro da mesma cidade. Avaliando o cenário como um todo, a distância média percorrida de um bairro para uma escola seria de 5 quilômetros, com um mínimo de 101 metros e um máximo de 36 quilômetros. Já em relação ao relacionamento escola/agrupamento empresarial, a média seria de pouco mais de 1 quilômetro, com mínima e máxima já apresentadas no parágrafo anterior.

4.1.2. Cidade do Rio de Janeiro

Reduzindo o espaço de avaliação para a cidade do Rio de Janeiro, temos 160 bairros, 112 escolas e 151 agrupamentos empresariais. Nos mesmos parâmetros da análise anterior, 11 escolas foram escolhidas para conversão. Destas, a escola CEJA Madureira foi responsável pelo maior número de bairros atendidos, 24 no total. No quesito maior média de distâncias para os bairros atendidos, o CIEP 321 Doutor Ulisses Guimarães, em Curicica, ficou em primeiro lugar, com um total de 10 quilômetros de distância média para os 16 bairros que atende. O deslocamento mínimo é de 1,1 quilômetro e o deslocamento máximo é de 21,2 quilômetros. Analisando a taxa de utilização, 9 das 11 escolas possuem ao menos 80% de sua capacidade ocupada. Apenas o Colégio Estadual Professora Maria de Lourdes de Oliveira Lavor, na Ilha do Governador, e a escola CEJA Senai Paciência, no bairro Paciência, possuem taxa de ocupação inferior, com 67% e 60,1%, respectivamente.

À respeito das relações entre escolas e agrupamentos empresariais, cada grupo de empresas ficou vinculado a uma escola, de forma semelhante ao ocorrido no cenário englobando toda a região metropolitana. O deslocamento mínimo foi de 635 metros, entre o agrupamento do Complexo do Alemão e o Colégio Estadual Jornalista Tim Lopes. Já o deslocamento máximo, de 2,8 quilômetros, ocorreu entre o agrupamento de Paciência e a escola CEJA Senai Paciência, no mesmo bairro. De forma geral neste cenário, a distância média na relação bairros/escolas foi de 5,4 quilômetros, com mínima de 398 metros e máxima de 21,2 quilômetros. No relacionamento entre escolas e agrupamentos de empresas, a média foi de 1,4 quilômetro.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

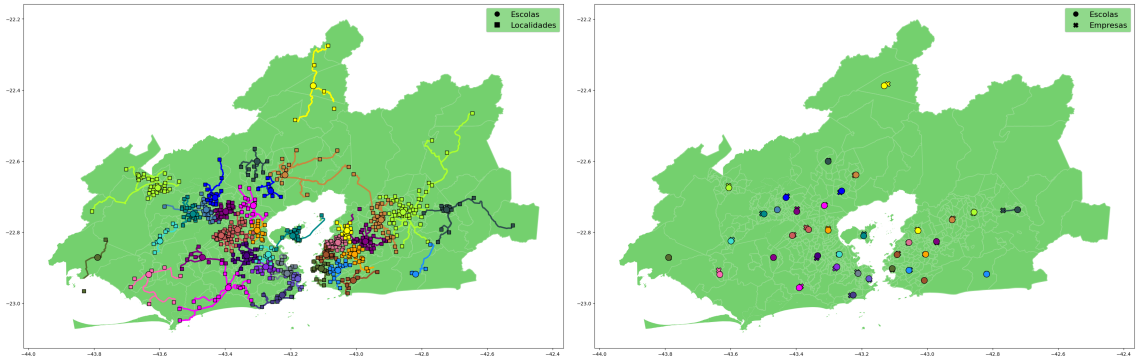
4.2. Agrupamentos por Atividade Comercial

Embora os cenários avaliados já indiquem informações valiosas para o problema em questão, agrupar empresas apenas por sua localização geográfica pode não ser o ideal. Por mesclar empresas de diferentes atividades, essa abordagem não traz uma direção específica em relação à área de atuação que uma escola vinculada poderia ofertar cursos. Logo, realizamos uma segunda rodada de experimentos, agrupando as empresas não apenas por sua localização geográfica, mas também com base em sua principal atividade econômica. Da mesma forma que na abordagem anterior, os experimentos foram realizados tanto para a região metropolitana quanto para a cidade do Rio de Janeiro, e os seus resultados serão discutidos nas Seções 4.2.1 e 4.2.2, respectivamente.

4.2.1. Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Ao realizar a divisão dos agrupamentos empresariais pelas atividades exercidas, além da localização, o número de agrupamentos disponíveis saltou de 597 para 7558, um aumento de 1.166%. Como os parâmetros foram os mesmos utilizados nas análises anteriores, o número de escolas convertidas não foi alterado, permanecendo em 37 unidades, 10% do total disponível. A escola com a maior média de distâncias continuou sendo o CIEP 472 Cândido Portinari, com os mesmos 13,5 quilômetros. Verificando a taxa de utilização de modo geral, 18 escolas apresentaram uso acima de 80% e 29 escolas utilizaram ao menos 50% da sua capacidade. Analisando as escolas com grande utilização, 8 delas possuem uso acima de 99% da capacidade, contra apenas 4 do cenário anterior. Isso demonstra uma concentração maior em algumas escolas neste cenário em que há mais agrupamentos de empresas. Este fato pode influenciar a escolha de quais escolas converter, devido às distâncias para os novos agrupamentos. Neste cenário, 14 dos 22 municípios foram contemplados: Belford Roxo, Duque de Caxias, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Maricá, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Petrópolis, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti e Tanguá. A cidade do Rio de Janeiro converteria 10 escolas e foi a cidade com a maior conversão, seguida por Duque de Caxias, com 5 unidades educacionais convertidas. A Figura 2 mostra a localização geográfica destas escolas e seus relacionamentos com bairros e agrupamentos empresariais.

Seguindo na relação escola/empresas, agora segregada por atividades comerciais, os resultados deste cenário indicam de forma mais certeira as categorias de cursos para cada escola. No Colégio Estadual Visconde de Itaboraí, por exemplo, o modelo indicou que o segmento “Saúde Humana e Serviços Sociais” seria o melhor para a instituição de ensino, o que poderia guiar a escolha dos cursos ofertados pela unidade educacional. Analisando todos os relacionamentos, podemos verificar que o segmento “Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas” foi o mais



(1) (2)

Figura 2: Relações entre bairros e escolas (1) e escolas e agrupamentos empresariais (2) na região metropolitana do Rio de Janeiro.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

indicado para a região metropolitana do Rio de Janeiro, com 8 escolas, seguido de “Saúde Humana e Serviços Sociais” e “Construção”, com 7 e 5 unidades, respectivamente. A Tabela 2 detalha estas informações.

Escola	Bairro, Cidade	Ramo (CNAE)	Bairro, Cidade
CE Amaro Cavalcanti	Catete, Rio de Janeiro	K	Flamengo, Rio de Janeiro
CE André Maurois	Leblon, Rio de Janeiro	F	Gávea, Rio de Janeiro
CE Augusto Cezário Diaz André	Pacheco, São Gonçalo	I	Pacheco, São Gonçalo
CE Aydano de Almeida	Centro, Nilópolis	G	Tropical, Nilópolis
CE Bangu	Bangu, Rio de Janeiro	K	Bangu, Rio de Janeiro
CE Central do Brasil	Méier, Rio de Janeiro	F	Méier, Rio de Janeiro
CE Conselheiro Macedo Soares	Barreto, Niterói	F	Venda da Cruz, São Gonçalo
CE Elisiario Matta	Centro, Maricá	L	Maricá
CE Engenheiro Area Leão	Posse, Nova Iguaçu	N	Posse, Nova Iguaçu
CE Fernando Figueiredo	Imbariê, Duque de Caxias	N	Imbariê, Duque de Caxias
CE Frederico Azevedo	Itauna, São Gonçalo	Q	Itauna, São Gonçalo
CE Jornalista Tim Lopes	Ramos, Rio de Janeiro	M	Complexo do Alemão, Rio de Janeiro
CE Manuel de Abreu	Icaraí, Niterói	L	Icaraí, Niterói
CE Nilo Peçanha	Zé Garoto, São Gonçalo	Q	Zé Garoto, São Gonçalo
CE Paulo de Frontin	Pç. da Bandeira, Rio de Janeiro	G	Praça da Bandeira, Rio de Janeiro
CE Prof. Mª de Lourdes de O. Lavor	I. do Governador, Rio de Janeiro	Q	Jd. Carioca, Rio de Janeiro
CE Santo Antônio	Xerém, Duque de Caxias	G	Mantiqueira, Duque de Caxias
CE Visconde de Itaboraí	Centro, Itaboraí	Q	Itaboraí
CEJA Itaguaí	Vila Margarida, Itaguaí	K	Itaguaí
CEJA Madureira	Madureira, Rio de Janeiro	J	Madureira, Rio de Janeiro
CEJA Senai Paciência	Paciência, Rio de Janeiro	H	Paciência, Rio de Janeiro
CIEP 035 Mal. Henrique Teixeira Lott	Jd. Primavera, Duque de Caxias	I	Jardim Primavera, Duque de Caxias
CIEP 113 Prof. Waldick Pereira	Ouro Fino, Nova Iguaçu	Q	Rosa dos Ventos, Nova Iguaçu
CIEP 118 Ver. Vilson Campos de Macedo	São Bento, Duque de Caxias	G	São Bento, Duque de Caxias
CIEP 175 José Lins do Rego	Pq. José Bonifácio, S. J. de Meriti	C	Jardim Meriti, São João de Meriti
CIEP 207 Gilson Amado	Engenheiro Pedreira, Japeri	G	Eucaliptos, Japeri
CIEP 210 Mario Alves de Souza Vieira	Xavantes, Belford Roxo	Q	Xavantes, Belford Roxo
CIEP 252 João Baptista Caffaro	Centro, Tanguá	G	Duques, Tanguá
CIEP 309 Zuzu Angel Brasilcolômbia	Arsenal, São Gonçalo	F	Arsenal, São Gonçalo
CIEP 321 Doutor Ulisses Guimarães	Curicica, Rio de Janeiro	Q	Curicica, Rio de Janeiro
CIEP 333 Cacilda Becker	Miguel Couto, Nova Iguaçu	F	Miguel Couto, Nova Iguaçu
CIEP 359 Charles Perrault	Jd. Paraíso, Nova Iguaçu	G	Paraíso, Nova Iguaçu
CIEP 415 Miguel de Cervantes	Manilha, Itaboraí	G	Santo Antônio, Itaboraí
CIEP 448 Ruy Frazão Soares	Engenho do Mato, Niterói	N	Engenho do Mato, Niterói
CIEP 450 Di Cavalcanti	Badu, Niterói	M	Badu, Niterói
CIEP 472 Cândido Portinari	Itaipava, Petrópolis	K	Itaipava, Petrópolis
IE Governador Roberto Silveira	Jd. 25 de Agosto, Duque de Caxias	N	Jd. 25 de Agosto, Duque de Caxias

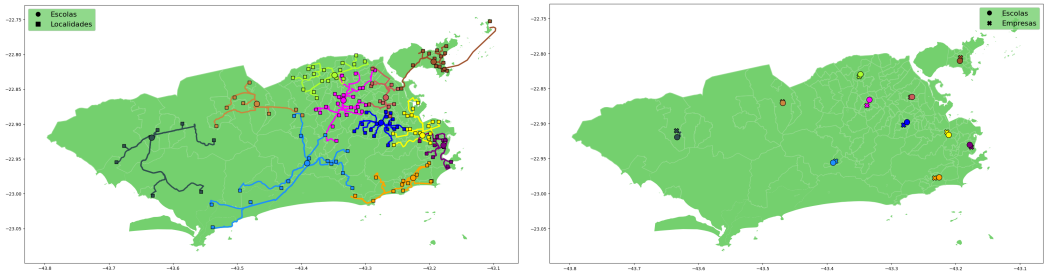
Legenda: C - Indústrias de Transformação — F - Construção — G - Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas
H - Transporte, Armazenagem e Correio — I - Alojamento e Alimentação — J - Informação e Comunicação — K - Atividades Financeiras, de Seguros e Serviços Relacionados
L - Atividades Imobiliárias — M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas — N - Atividades Administrativas e Serviços Complementares
Q - Saúde Humana e Serviços Sociais

Tabela 2: Ramos de atividade vinculados a cada escola escolhida para ser convertida na região metropolitana do Rio de Janeiro.

4.2.2. Cidade do Rio de Janeiro

Realizando um recorte para a cidade do Rio de Janeiro, levando em consideração a mesma variação analisada na Seção 4.2.1, foi possível verificar que dados semelhantes foram encontrados. A mesma escola, CIEP 321 Doutor Ulisses Guimarães, em Curicica, aparece como a detentora da maior média de distâncias para os bairros atendidos, com 10 quilômetros, assim como a escola CEJA Madureira figura como a que mais possui bairros vinculados, com 24 locais atendidos. Já em relação à utilização, esta variação do experimento não apresentou grande alteração na taxa de utilização das escolas. Das 11 escolas convertidas, 3 possuem taxa acima de 99%, enquanto 9 delas estão acima de 80% e as 2 restantes estão acima de 50%. Este resultado está em consonância com o cenário anterior, em que os mesmos valores foram encontrados, com todas as escolas com ocupação acima de 60%. Os bairros que seriam contemplados com unidades de ensino seriam Ramos, Méier, Praça da Bandeira, Bangu, Curicica, Catete, Madureira, Coelho Neto, Leblon, Ilha do Governador

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br



(1) (2)

Figura 3: Relações entre bairros e escolas (1) e escolas e agrupamentos empresariais (2) na cidade do Rio de Janeiro.

e Paciência. A Figura 3 mostra no mapa a localização destas escolas e seus relacionamentos com bairros e agrupamentos empresariais.

O ramo de atividade empresarial mais escolhido para a cidade do Rio de Janeiro seria "Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura", com 3 escolas vinculadas, seguida de "Construção", com 2 unidades de ensino. Todas os outros ramos empresariais selecionados tiveram apenas uma escola vinculada. São eles "Atividades Financeiras, de Seguros e Serviços Relacionados", "Atividades Imobiliárias", "Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas", "Indústrias de Transformação", "Saúde Humana e Serviços Sociais" e "Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação". A Tabela 3 detalha estes resultados.

Escola	Bairro	Ramo (CNAE)	Bairro
CE Amaro Cavalcanti	Catete	K	Flamengo
CE André Maurois	Leblon	F	Gávea
CE Bangu	Bangu	A	Bangu
CE Central do Brasil	Méier	F	Méier
CE Jornalista Tim Lopes	Ramos	M	Complexo do Alemão
CE Mal. João Baptista de Mattos	Coelho Neto	C	Coelho Neto
CE Paulo de Frontin	Praça da Bandeira	L	Praça da Bandeira
CE Prof. Mª de Lourdes de O. Lavor	Ilha do Governador	Q	Jardim Carioca
CEJA Madureira	Madureira	E	Madureira
CEJA Senai Paciência	Paciência	A	Paciência
CIEP 321 Doutor Ulisses Guimarães	Curicica	A	Curicica

Legenda: A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura — C - Indústrias de Transformação
E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação — F - Construção
K - Atividades Financeiras, de Seguros e Serviços Relacionados — L - Atividades Imobiliárias
M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas — Q - Saúde Humana e Serviços Sociais

Tabela 3: Ramos de atividade vinculados a cada escola escolhida na cidade do Rio de Janeiro.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o problema de conversão de escolas regulares em escolas técnicas, introduzindo um modelo de programação linear inteira para a sua resolução. Dados da região metropolitana do Rio de Janeiro e da cidade do Rio de Janeiro foram avaliados, e os resultados de diversos cenários foram comparados.

Os resultados mostram que é possível atender a região com a conversão de um número relativamente baixo de escolas. Em ambos cenários, 10% das escolas disponíveis foram suficientes para a cobertura de toda a demanda especificada. Foi possível verificar que um grande número das escolas de grande porte apresentou taxa de utilização acima de 99% em ambos cenários. Os experimentos também mostraram que, no cenário que engloba toda a região metropolitana, o segmento "Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas" foi o mais indicado para as

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br

escolas, presente em 8 das 37 unidades de ensino, ou 21,6%. Este segmento esteve presente em 7 das 22 cidades (31,8%): Nilópolis, Rio de Janeiro, Duque de Caxias (2 unidades), Japeri, Tanguá, Nova Iguaçu e Itaboraí. Já no recorte da capital fluminense, o segmento mais indicado seria "Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura", com 3 das 11 escolas (27,3%), nos bairros de Bangu, Paciência e Curicica, todos na zona oeste da cidade. Ao separar as empresas por suas atividades comerciais para a criação dos agrupamentos, um ajuste mais fino pode ser feito em relação aos cursos ofertados por cada unidade de ensino convertida, em contraste aos primeiros dois cenários avaliados.

Em relação a trabalhos futuros, uma abordagem levando em conta uma análise mais aprofundada da economia de cada região seria de grande interesse, agregando aos resultados verificados por este trabalho. Uma abordagem deste problema sob uma ótica multiobjetiva apresenta-se como um caminho natural a se seguir, dado a natureza do problema e os resultados verificados.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem UFRJ (23079.227622/2023-70, 23079.229096/2023-82), CNPq (307663/2021-3) e FAPERJ (E-26/201.341/2022) por financiarem parcialmente esta pesquisa.

Referências

Castillo-López, I. e López-Ospina, H. A. (2015). School location and capacity modification considering the existence of externalities in students school choice. *Computers Industrial Engineering*, 80:284–294. ISSN 0360-8352.

Celik Turkoglu, D. e Erol Genevois, M. (2019). A comparative survey of service facility location problems. *Annals of Operations Research*, 292(1):399–468. ISSN 1572-9338. URL http://dx.doi.org/10.1007/s10479-019-03385-x.

de Armas, J., Ramalhinho, H., e Reynal-Querol, M. (2022). Improving the accessibility to public schools in urban areas of developing countries through a location model and an analytical framework. *PLOS ONE*, 17(1). ISSN 1932-6203.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) (2023). Censo escolar 2023. https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/estatisticas-censo-escolar/. Acessado: 2024-05-25.

Ministério da Educação (2018). Expansão da rede federal. http://portal.mec.gov.br/setec-programas-e-acoes/expansao-da-rede-federal. Acessado: 2024-05-25.

Ministério da Educação (2024). Governo federal anuncia 100 novos campi de institutos federais. https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2024/marco/governo-federal-anuncia-100-novos-campi-de-institutos-federais. Acessado: 2024-05-25.

Polino, S., Camacho-Vallejo, J.-F., e Villegas, J. G. (2023). A facility location problem for extracurricular workshop planning: bi-level model and metaheuristics. *International Transactions in Operational Research*.

Xavier, C. M., Fernandes Costa, M. G., e Filho, C. F. F. C. (2020). Combining facility-location approaches for public schools expansion. *IEEE Access*, 8:24229–24241.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193435
https://proceedings.science/p/193435?lang=pt-br