



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CARLOS MATEUS GONÇALVES GONZAGA

**PRODUTIVIDADE VARIÁVEL EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM DE VIAS
URBANAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTERFERÊNCIAS: UM ESTUDO DE
CASO**

FORTALEZA

2021

CARLOS MATEUS GONÇALVES GONZAGA

PRODUTIVIDADE VARIÁVEL EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM DE VIAS
URBANAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTERFERÊNCIAS: UM ESTUDO DE
CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda
de Oliveira.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G65p Gonzaga, Carlos Mateus Gonçalves.
 Produtividade Variável Em Obras De Terraplenagem De Vias Urbanas Com Diferentes
 Níveis De Interferências : Um Estudo De Caso / Carlos Mateus Gonçalves Gonzaga. – 2021.
 44 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de
 Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
 Orientação: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.
1. RUP. 2. Produtividade. 3. Interferências. 4. Terraplenagem. 5. Vias Urbanas. I. Título.
-

CARLOS MATEUS GONÇALVES GONZAGA

PRODUTIVIDADE VARIÁVEL EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM DE VIAS
URBANAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTERFERÊNCIAS: UM ESTUDO DE
CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: 06 / 09 / 2021 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. José Breno Ferreira Quariguasi
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho à minha família que sempre me forneceu apoio no decorrer desta caminhada tão árdua.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família: minha mãe Simônica, meu pai Gonzaga e minhas irmãs Anna e Maelly, que sempre acreditaram no meu potencial e não mediram esforços para auxiliar-me na conquista deste sonho.

Aos meus colegas de trabalho, Paulo Soares, Elder Matos, Regina Tavares, Wuelson Targino e todos os funcionários que trabalharam na obra do estudo de caso, e que sempre me incentivaram a seguir em frente em busca dos meus objetivos.

À Engenheira Civil Dayane Amaro, que sempre me aconselhou na elaboração deste trabalho.

Aos meus colegas do grupo PET, Programa de Educação Tutorial, que fizeram parte de toda a minha trajetória de graduação.

Ao meu orientador, Francisco Heber, por me acolher como seu orientando e pelos inúmeros conhecimentos repassados. E, finalmente, aos meus companheiros de curso, por terem compartilhado tantos momentos valiosos comigo.

RESUMO

Atrasos em obras resultam em prejuízos financeiros. E para calcular os prazos são necessárias as produtividades dos serviços, as quais podem variar significativamente a depender do ambiente e tipologia da obra. Podem-se encontrar as produtividades em tabelas usuais de Composição por Preço Unitário (CPU), em órgãos como a Caixa Econômica e secretarias de infraestrutura dos estados e municípios. Contudo, essas produtividades podem não ser representativas quando em ambientes de alto grau de interferências, como no caso de obras viárias em trechos urbanos de grandes cidades. A Prefeitura de Fortaleza, estado do Ceará, é responsável pelas obras de infraestrutura viária dos bairros. Uma obra no bairro Canindezinho, na mesma cidade, serviu como estudo de caso para avaliar o impacto de três diferentes variáveis que podem influenciar na produtividade: largura da via, ligações subterrâneas e fiações aéreas. O estudo analisou a correlação da produtividade de um determinado serviço com a variação destas três características separadamente. O serviço analisado especificamente, foi o de corte em solo. Para isso, foram calculados os volumes escavados e o tempo utilizado no serviço de escavação. As conclusões foram que a Razão Unitária de Produção (RUP) varia com a largura da rua seguindo, com R^2 de 0,716, uma função exponencial. As outras duas variáveis – ligações subterrâneas e fiação aérea – resultaram em variações de 23,49% e 29,38%, respectivamente, para mais na RUP significando diminuição da produtividade. Com posse desses resultados e com a equação da variação da RUP com a largura da rua, foi criada uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão do planejamento das obras. Trata-se de uma planilha que tem como entrada as características do trecho a ser executado e, como saída de dados, a produtividade e datas de término do serviço.

Palavras-Chave: RUP. Produtividade. Interferências. Terraplenagem. Vias Urbanas.

ABSTRACT

Delays in road works result in financial loss. The productivity of the services is necessary to calculate the deadlines, which can vary significantly depending on the ambience and type of work. Productivity indexes can be found in the usual Composition by Unit Price (CPU) tables, prepared by agencies such as Caixa Econômica and infrastructure agencies in states and municipalities. However, this productivity estimate may not be representative when in ambiences with a high degree of interferences, as in the case of road works in large urban areas. The Municipality of Fortaleza, state of Ceará, is responsible for the road infrastructure works in its area. A project in the Canindezinho neighborhood, in this city, served as a case study to assess the impact of three different variables that can impact productivity: road width, underground connections and overhead wires. The study analyzed separately the correlation of productivity of several stretches with the variation of these three characteristics. The service analyzed, specifically, was the ground cut. For this, the excavated volumes and the time used in the excavation service were calculated. The conclusions were that the Unit Production Ratio (RUP) varies with the street width following, with R^2 of 0.716, an exponential function. The other two variables – underground connections and overhead wiring – resulted in variations of 23.49 and 29.38%, respectively, for more in the RUP, meaning a decrease in productivity. With these results and the equation of the variation of the RUP by the width of the street, a tool was created to assist in decision-making in the planning of the works. It is a spreadsheet that has as input the characteristics of the road to be executed and, as data output, productivity and service end dates.

Keywords: RUP. Productivity. Interferences. Earthworks. Urban ways.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte em solo	17
Figura 2 – Sistematização da metodologia de Composição de custo unitário de um serviço ..	20
Figura 3 – Composição de Custos do banco de composições SINAPI 2018	21
Figura 4 – Variação de produtividade	26
Figura 5 – Fluxograma resumo do método de pesquisa	27
Figura 6 – Fiação residencial na região de corte em solo.....	28
Figura 7 – Seção tipo de pavimentação da obra em estudo.....	29
Figura 8 – (a) Escavação de solo natural e (b) execução de reforço do subleito.....	29
Figura 9 – (a) Execução de sub-base e de (b) revestimento em piso intertravado	30
Figura 10 – (a) Escavação em solo natural e (b) execução de reforço do subleito com presença de interferência subterrânea de galeria de drenagem.....	31
Figura 11 – Escavadeira Hidráulica Modelo CAT 320D	32
Figura 12 – Fluxograma de entrada e saída de dados na planilha implementada	35
Figura 13 – Gráfico de dispersão RUP diária versus Largura da rua	37
Figura 14 – Interface de entrada da planilha	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frota total de veículos por região do Brasil – 2009 a 2019.....	11
Tabela 2 – Resumo das porcentagens conforme custos unitários	18
Tabela 3 – Síntese dos fatores e das anormalidades: escavação e carga de material de 1ª categoria (continua).....	23
Tabela 4 – Descrição das variáveis investigadas.....	31
Tabela 5 – Divisão dos casos estudados.....	32
Tabela 6 – Cálculo do comprimento dos trechos	33
Tabela 7 – Volume dos cortes	34
Tabela 8 – Produtividade média entre dois meses quaisquer	36
Tabela 9 – RUP e Produtividade para diferentes larguras.....	37
Tabela 10 – Comparação de trechos com e sem a presença de ligações subterrâneas de drenagem.....	38
Tabela 11 – Comparação de trechos com alta e baixa densidade de fiação aérea residencial ..	39
Tabela 12 – Interface de saída da planilha	41
Tabela 13 – Descrição das variáveis investigadas.....	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CPU	Composição de Preços Unitários
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
LOA	Lei Orçamentária Anual
LVC	Levantamento Visual Contínuo
NS	Notas de Serviço
RUP	Razão Unitária de Produção
SEINFRA	Secretaria da Infraestrutura do Ceará
SEINF	Secretaria Municipal de Infraestrutura
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Considerações iniciais	11
1.2	Problema de pesquisa	12
1.3	Justificativa	13
1.4	Objetivos	14
1.4.1	<i>Objetivo geral</i>	14
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.5	Estrutura do trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Terraplenagem e pavimentação	16
2.2	Custos de equipamentos	18
2.2.1	<i>Custo horário produtivo</i>	19
2.2.2	<i>Custo horário improdutivo</i>	19
2.3	Composições de custo	20
2.4	Produtividade variável	22
3	ESTUDO DE CASO	27
3.1	Método de pesquisa	27
3.2	Características da obra estudada	28
3.3	Levantamento de dados e cálculo dos indicadores	30
3.4	Identificação e classificação das variáveis de produtividade	30
3.5	Cálculo da produtividade	33
3.5.1	<i>Quantidade de serviço</i>	33
3.5.2	<i>Desenvolvimento de uma planilha de cálculo de produtividade para o serviço de corte em solo</i>	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	Variação da produtividade com a variação da largura da via (Caso 01 versus Caso 04)	36
4.2	Variação da produtividade com o nível de interferências subterrâneas	38
4.3	Variação da produtividade com a variação das interferências de fiações aéreas	39
4.4	Planilha de cálculo de produtividade do serviço de corte em solo	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O modo rodoviário possui a maior participação na matriz de transporte do Brasil, com cerca de 70% e 95% para a movimentação de mercadorias e de passageiros, respectivamente, segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2019). Brasil (1997) classifica as vias em dois grandes grupos: vias urbanas e rurais. As vias rurais são divididas em rodovias, as quais são pavimentadas, e em estradas, não pavimentadas. As vias urbanas, usualmente, são classificadas em quatro tipos: de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais. As vias coletoras são as vias de bairros, usadas para coletar o trânsito local e distribuir para as vias arteriais e de trânsito rápido. As vias locais são caracterizadas por interseções em nível não semaforizadas, destinadas praticamente somente ao acesso local. Neste trabalho será dada ênfase somente às vias coletoras, que são objetos do estudo de caso apresentado, sendo vias coletoras com tráfego leve.

Cerca de 12% das rodovias nacionais são pavimentadas, o que indica carência de obras dessa tipologia. De acordo com CNT (2019), observa-se que, de 2009 a 2019, a malha pavimentada cresceu 6,7%. Em contrapartida, na Tabela 1, tem-se a evolução de frota, no mesmo período, com aumento de 80,8%. Essa discrepância denota desproporcionalidade e indica a necessidade de investimentos no modo rodoviário, pois a frota quase dobrou no período avaliado.

Tabela 1 – Frota total de veículos por região do Brasil – 2009 a 2019

REGIÃO	2009	2019	CRESCIMENTO 2009 – 2019 (%)
Brasil	56.769.656	102.666.444	80,8%
Norte	2.341.150	5.386.646	130,1%
Nordeste	7.763.483	17.756.545	128,7%
Sudeste	29.761.431	49.805.810	67,9%
Sul	11.970.805	20.134.091	68,2%
Centro-Oeste	5.022.787	9.583.352	90,8%

Fonte: CNT (2019)

No cenário estadual, conforme Ceará (2017), existem quase 45.000 km de rodovias não pavimentadas, o que representa cerca de 80% de toda a malha do estado do Ceará. A maior parte desses trechos não pavimentados é de jurisdição municipal, totalizando cerca de 71%. A situação dessa malha, obtida pelo método de Levantamento Visual Contínuo

(LVC), está majoritariamente em boas condições, com 74,4%. Além disso, 38.172 km de rodovias não pavimentadas estão sob domínio municipal, indicando que as cidades devem investir mais no setor.

Como capital do estado do Ceará, sendo a 5ª maior em população do País, tem-se Fortaleza, que é uma cidade que tem investido altas cifras em infraestrutura viária. Analisando a Lei Orçamentária Anual do município (LOA), podem-se visualizar os valores investidos por cada função e área de atuação. Somente no ano de 2020, a Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEINF) de Fortaleza destinou R\$ 536.454.184,00, de um total de R\$ 605.350.733,00, para a infraestrutura urbana. Isso representa 6,0% de todo o orçamento do município para 2020, de R\$ 8.939.401.538,00. (FORTALEZA, 2020).

Desta forma, há uma preocupação municipal em aumentar o investimento em infraestrutura viária. Esse valor de cerca de 536 milhões é praticamente o triplo do valor de R\$ 222.933.484 destinado no orçamento municipal de 2009 para essa mesma finalidade. (FORTALEZA, 2009).

Percebendo a importância econômica das obras de infraestrutura viária, faz-se necessário estudar melhores técnicas que consigam avaliar a sua produtividade. Diante disso, destaca-se a importância dessas obras para que os custos do orçamento sejam reduzidos, sem perda na qualidade. Diversos bancos de dados de composição de custos, como o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), são consolidados no mercado, e a sua utilização varia de acordo com o local e o tipo da obra.

1.2 Problema de pesquisa

De acordo com Filipi e Melhado (2015), para elaborar um planejamento eficaz, diversas premissas precisam ser definidas. O domínio dessas premissas e a escolha das mais apropriadas para determinado serviço corroboram para que a diferença entre o planejado e o executado seja a menor possível. Desse modo, para garantir um controle efetivo dos prazos de um projeto, é importante analisar, antecipadamente, as condições que farão parte da execução dos serviços para que, caso as condições reais se distanciem das premissas, ações possam ser tomadas para evitar atrasos no prazo da obra.

Sweis (2008) define atraso como um ato ou evento que estende o tempo para executar a tarefa para além do acordado no fim do prazo do contrato. Tumi *et al.* (2009) classificaram atrasos na construção civil em duas categorias. Uma como atrasos justificáveis e outra como atrasos injustificáveis. O atraso justificável ocorre quando o próprio cliente toma

ações que atrasam a obra, tendo este que arcar com as consequências. O atraso injustificável significa que o único responsável é o construtor e seus fornecedores, isentando o cliente de qualquer culpa. Sendo assim, os custos advindos desse atraso são de inteira responsabilidade do construtor. (TUMI, OMRAN e PAKIR, 2009).

Brasil (1993) faz exatamente a mesma leitura sobre atrasos, quando afirma que toda prorrogação de prazo de obras públicas deverá ser justificada por escrito e previamente autorizada pela autoridade competente para celebrar o contrato. Assim, fica clara a importância de se controlar as variáveis que geram impacto no prazo da obra, para não sofrer as consequências financeiras do não cumprimento de prazos contratuais.

Para elaborar um orçamento ou planejamento de obras viárias, as construtoras utilizam coeficientes de produtividade de bancos próprios ou de bancos confiáveis conhecidos, como a tabela de custos da Secretaria da Infraestrutura do Ceará (SEINFRA/CE), em Ceará (2021), o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) em Caixa Econômica Federal (2018), e o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em DNIT (2021). Contudo, pode-se reparar que os estudos de produtividade em obras viárias urbanas são bastante escassos. Nesse caso, as premissas adotadas podem não ser condizentes com a realidade de tais obras, tornando os prazos e custos divergentes do previsto, pois algumas das interferências, tais como a largura da rua e instalações subterrâneas, podem não ser consideradas. Diante disso, surge o problema da falta de dados confiáveis necessários para a orçamentação dessas obras.

1.3 Justificativa

As informações relativas à produtividade em uma obra são necessárias desde a sua concepção, sendo fundamental para o estudo de viabilidade econômica do projeto. Isso porque os custos fixos mensais são tanto maiores quanto maior o prazo da obra. Desse modo, sua incorreta predição pode colocar em risco a saúde financeira da construtora, a qual não considerou os gastos de mais alguns meses, ou até anos, além da previsão inicial. Todas são consequência de um possível atraso na obra.

Logo, os coeficientes de produtividade da obra precisam ser controlados, pois as suas características são variáveis com o tempo, conforme será evidenciado neste trabalho. Um indicador relevante para esse estudo é a Razão Unitária de Produção (RUP), a qual indica a

quantidade de tempo gasto por volume de serviço realizado, conforme será explicitado no capítulo de revisão bibliográfica.

Para serviços em ambientes controlados, como fábricas de pré-moldados e usinas de concreto, a produtividade média tende a ser suficiente para as pretensões do planejamento. Contudo, caso o ambiente possua condições de trabalho de alta variabilidade, como é o caso de obras em trechos urbanos, torna-se arriscado o uso de produtividades médias tabeladas.

A produtividade variável consiste em adotar um intervalo de produtividade de acordo com as variáveis específicas do referido serviço. Há um trabalho extenso elaborado pela PINI (2008) sobre o tema. Porém, o trabalho tem foco majoritário em obras de edificações, deixando o setor de infraestrutura viária desguarnecido quanto a essa temática.

Para submeter a uma análise mais completa do problema do uso apenas dessa produtividade média, elaborou-se um estudo de caso em uma obra viária na cidade de Fortaleza/CE. Para tanto, devem-se utilizar o conceito de produtividade variável para o acompanhamento dessas obras. E este trabalho foi mais específico: a sua abordagem foi focada em torno do serviço de Terraplenagem – execução de cortes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho possui como objetivo geral propor um método para estimar a produtividade variável em obras de terraplenagem de vias urbanas.

1.4.2 Objetivos específicos

Com o intuito de atingir o objetivo geral, foram delineados alguns objetivos específicos. São eles:

- a) calcular a Razão Unitária de Produção diária (RUP diária) e comparar os resultados dos diferentes trechos executados;
- b) criar uma planilha eletrônica que auxilie no planejamento de execução dos trechos sob diferentes interferências.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Além deste capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre formas específicas de se analisar produtividade variável e os bancos de composições de custo vinculados. O Capítulo 3 detalha um estudo de caso utilizado para calcular os valores de RUP e elaborar um quadro de produtividade variável para o serviço de escavação mecânica com escavadeira hidráulica. O Capítulo 4 expõe e discute os resultados, comparando as produtividades obtidas com os bancos consolidados e avaliando a influência das variáveis calculadas. O Capítulo 5 conclui, dispõe as considerações finais e sugere temas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo são apresentados e discutidos os conceitos abordados durante o desenvolvimento do trabalho. Primeiramente, é necessário entender o que é terraplenagem e quais são as suas principais etapas e a sua importância para obras viárias. Além disso, o entendimento do trabalho exige também a interpretação clara de uma composição de custos. Sobre produtividade, serão abordados os conceitos de Razão Unitária de Produção (RUP) e de produtividade variável, além de uma exemplificação de seu uso e cálculo.

2.1 Terraplenagem e pavimentação

Segundo DNIT (2006), pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas finitas, assentes sobre um semiespaço infinito, o subleito. O Pavimento pode ser classificado como flexível, semirrígido e rígido. Essa classificação varia de acordo com a distribuição das cargas, sendo no flexível a distribuição praticamente equivalente entre as camadas. No outro extremo, o rígido tem as cargas absorvidas quase que integralmente pelo revestimento, dada a sua elevada rigidez.

No subgrupo dos revestimentos flexíveis, pode-se destacar o revestimento flexível por calçamento do tipo bloco intertravado de concreto de cimento. Esse é um revestimento largamente utilizado em pátios de estacionamento, vias urbanas e acessos em geral. É, também, um revestimento indicado para subleitos sujeitos a recalques acentuados, dado o seu intertravamento lateral. (DNIT, 2006).

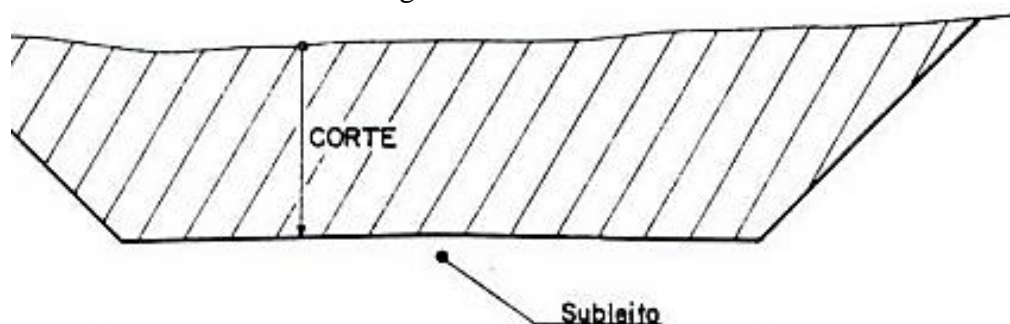
Contudo, antes de iniciar o serviço de pavimentação propriamente, é necessário deixar o subleito pronto para receber as camadas quaisquer que sejam. E essa preparação passa pelo serviço de terraplenagem. Terraplenagem significa qualquer movimentação de terra. E mais especificamente sobre cortes, ARTERIS (2015) define que são segmentos de rodovias que em sua implantação requer escavação do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções de projeto (“*Off-sets*”) que definem o corpo estradal, o qual corresponde à faixa terraplanada.

A sequência construtiva para terraplanagem é a seguinte, conforme DNIT (2009):

- a) locação topográfica – *off-set*;
- b) limpeza da faixa, remoção da vegetação e obstáculos;
- c) remoção da camada de terra vegetal;
- d) emprego dos equipamentos adequados ao corte;

- e) acabamento do corte.
- a) UFPR (2015) define cortes como os segmentos que requerem escavação para se alcançar a linha do greide projetado, sugerindo a seguinte sequência, ilustrada na Figura 1. escavação dos materiais constituintes do terreno natural até a plataforma de terraplenagem definida pelo projeto;
- b) escavação para rebaixamento do leito de terraplenagem, nos casos em que o subleito for constituído por materiais julgados inadequados;
- c) escavação nos terrenos de fundação de aterros com declividade excessiva (comuns nos alargamentos de aterros existentes) para que estes proporcionem condições para trabalho dos equipamentos e estabilidade às camadas a serem sobrepostas;
- d) alargamentos além do necessário em algumas porções de cortes para possibilitar a utilização de equipamentos normais;
- e) transporte dos materiais escavados para aterros ou bota-foras

Figura 1 – Corte em solo



Fonte: UFPR (2015)

Logo, pode-se observar que as etapas para execução de terraplenagem envolvem recursos diversos, como equipamentos e homens. Em especial, conforme será contextualizado no subitem seguinte, têm-se os equipamentos como principais componentes para as obras de terraplenagem. Na etapa “a” (Escavação dos materiais), há a escavadeira hidráulica como equipamento líder da patrulha de trabalho, o que significa que os demais equipamentos da patrulha trabalham em função do tempo da escavadeira, a qual não para. Foi sobre essa etapa específica que o trabalho foi elaborado, discutindo as formas em que ela pode afetar os custos e os impactos na produtividade.

2.2 Custos de equipamentos

Terraplenagem é um serviço que utiliza majoritariamente equipamentos. Pedrozo (2001) indica essa condição quando sintetiza, conforme apresentado na Tabela 2, a composição percentual de materiais, mão de obra, equipamentos e transportes. Nota-se, na tabela, a predominância dos equipamentos nesse tipo de serviço.

Tabela 2 – Resumo das porcentagens conforme custos unitários

	MATERIAIS	MÃO DE OBRA	EQUIPAMENTOS	TRANSPORTES
Terraplenagem	18%	15%	52%	15%
Pavimentação	74%	3%	19%	4%
Drenagem	69%	23%	4%	4%

Fonte: Pedrozo (2001)

Diante disso, cabe entender como os custos dos equipamentos são calculados. DNIT (2017) possui uma seção que aborda a forma como os custos de um equipamento são calculados. O custo horário de um equipamento é definido por meio de seus custos horários de propriedade, de manutenção e de operação.

O custo horário de um equipamento contabiliza, ainda, todos os custos envolvidos em sua utilização. O cálculo do custo horário do equipamento exige o conhecimento dos parâmetros de custo de propriedade, de manutenção e de operação (DNIT, 2017). Esses parâmetros são dados do seguinte modo:

- a) custo de propriedade:
 - depreciação;
 - remuneração do capital;
 - seguros e impostos.
- b) custo de manutenção:
 - material rodante / pneus;
 - partes de desgaste;
 - reparos em geral.
- c) custos de operação:
 - combustível;
 - filtros e lubrificantes;
 - mão de obra de operação.

A partir desses parâmetros, podem ser calculados os custos produtivos e improdutivos dos equipamentos. O cálculo utilizado segue a metodologia de DNIT (2017), que é o manual que trata de maneira mais específica dos custos de equipamentos para serviços rodoviários.

2.2.1 Custo horário produtivo

O custo horário produtivo, segundo DNIT (2017), é a soma dos custos de propriedade, de manutenção e de operação, conforme Equação 1.

$$Chp = Dh + Jh + Mh + Cc + Cmo + Ih \quad (1)$$

em que:

Chp: custo horário produtivo (R\$/h);

Dh: depreciação horária (R\$/h);

Jh: custo horário dos juros da oportunidade de capital (R\$/h);

Mh: custo horário da manutenção (R\$/h);

Cc: custo horário de combustíveis, lubrificantes, filtros e graxas (R\$/h);

Cmo: custo horário com mão de obra de operação (R\$/h);

Ih: custo horário com seguros e impostos (R\$/h).

2.2.2 Custo horário improdutivo

Para encontrar o custo improdutivo, basta desconsiderar os custos de Mh e Cc da Equação 1. Assim, o custo horário produtivo é a soma de apenas os custos de propriedade (depreciação, oportunidade do capital, seguros e impostos) e de mão de obra de operação, conforme Equação (2) (DNIT, 2017).

$$Chi = Cmo + Dh + Jh + Ih \quad (2)$$

em que:

Chi: custo horário improdutivo (R\$/h);

Cmo: custo horário com mão de obra de operação (R\$/h);

Dh: depreciação horária (R\$/h);

Jh: custo horário dos juros da oportunidade de capital (R\$/h);

Ih: custo horário com seguros e impostos (R\$/h).

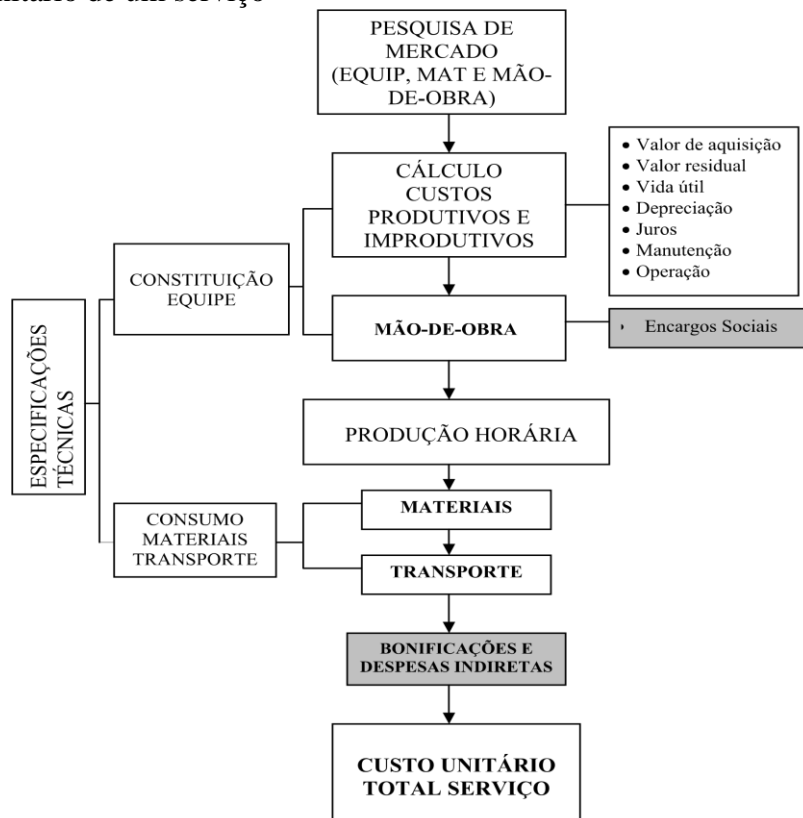
Somando-se as parcelas de Chp e Chi tem-se o custo total do equipamento.

Comparando os contextos de obras rodoviárias com obras viárias urbanas, percebe-se que a diferença mais significativa está no fato de o operador que trabalha em regiões com ocupação residencial, deverá executar movimentos que seriam desnecessários em campo livre. Isso por conta das interferências subterrâneas, residências próximas e fiação aérea, fazendo com que a lança do equipamento tenha sua mobilidade reduzida, pois os espaços seriam menores e isso exigiria movimentos adicionais

2.3 Composições de custo

A quantidade de material, de horas de equipamento e o número de horas gastas de pessoal para a execução de cada unidade desses serviços, multiplicados respectivamente pelo custo dos materiais, do aluguel dos equipamentos e pelo salário-hora dos trabalhadores, devidamente acrescidos dos encargos sociais, são denominados por Tisaka (2006), de Composição de Preços Unitários (CPU). Para obter uma Composição de Custos, Pedrozo (2001) sugere uma metodologia apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Sistematização da metodologia de Composição de custo unitário de um serviço



Fonte: Pedrozo (2001)

A composição de custos é uma ferramenta que permite definir os insumos necessários à realização de um determinado serviço. Como exemplo, na Figura 3, tem-se uma composição do banco do SINAPI (2018) referente ao serviço de escavação, normalmente aplicado para terraplenagem. Desse modo, os coeficientes indicam os custos para se escavar 1,00 m³ de material de primeira categoria. Dados os grandes volumes das obras de terraplenagem para pavimentação, esses coeficientes tornam-se bastante relevantes.

Figura 3 – Composição de Custos do banco de composições SINAPI 2018

83338 ESCAVACAO MECANICA, A CEU ABERTO, EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA, COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA, CAPACIDADE DE 0,78 M3 M3						
CÓDIGO	REFERÊNCIA	MÃO DE OBRA	UNID	COEF	UNIT (R\$)	PARCIAL (R\$)
88316	SINAPI	SERVENTE COM ENCARGOS	H	0,01920	12,94	0,24
						-
					SUB-TOTAL (R\$)	0,24
CÓDIGO	REFERÊNCIA	MATERIAIS	UNID	COEF	UNIT (R\$)	PARCIAL (R\$)
						-
						-
					SUB-TOTAL (R\$)	-
CÓDIGO	REFERÊNCIA	EQUIPAMENTOS/FERRAMENTAS	UNID	COEF	UNIT (R\$)	PARCIAL (R\$)
84013	SINAPI	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17,8 T, POTÊNCIA LÍQUIDA 110 HP - CHI DIURNO. AF_10/2014	CHI	0,00580	47,71	0,27
90991	SINAPI	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17,8 T, POTÊNCIA LÍQUIDA 110 HP - CHP DIURNO. AF_10/2014	CHP	0,01340	131,65	1,76
						-
					SUB-TOTAL (R\$)	2,03
CÓDIGO	REFERÊNCIA	DIVERSOS/COMPOSIÇÕES AUXILIARES	UNID	COEF	UNIT (R\$)	PARCIAL (R\$)
						-
						-
					SUB-TOTAL (R\$)	-
					CUSTO UNITÁRIO (R\$)	2,27

Fonte: Caixa Econômica Federal (2018)

Principais itens utilizados, na Figura 3, para obter uma composição de custo unitário:

- origem indica a fonte de obtenção da composição, que podem ser utilizadas as tabelas Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), Secretaria da Infraestrutura do Ceará (SEINFRA/CE) e o Sistema Nacional de Custos Referenciais de Obras (SICRO). Dentro de uma composição de custo unitário é possível utilizar as tabelas citadas, como também podem ser utilizadas composições de elaboração própria;
- insumos são os elementos indispensáveis para a execução direta do serviço desejado, podem ser referentes a mão de obra, matérias e equipamentos;
- unidade é unidade de medida referente ao insumo, como kg, m², m³, und, horas, etc.;

- d) coeficiente é a quantidade do insumo para obtenção de 1 (uma) unidade do serviço;
- e) custo unitário tabela é o custo de aquisição do insumo, referente aos preços tabelados;
- f) custo unitário total é o custo total do insumo, sendo feita a multiplicação do coeficiente pelo custo unitário de tabela.

2.4 Produtividade variável

Produtividade pode ser definida como a eficiência em se transformar entradas e saídas num processo produtivo (SOUZA, 1998). Na ótica da produtividade física, as entradas são os materiais, mão de obra ou equipamentos, enquanto na ótica da produtividade financeira, a análise é feita com base na entrada de dinheiro, e na produtividade social, todo o esforço da sociedade.

Principalmente para execução de obras públicas, é comum o uso dos coeficientes de produtividade encontrados em bancos de composições conhecidos. Como exemplo, podem ser citados a tabela de custos da Secretaria da Infraestrutura do Ceará (SEINFRA/CE), em Ceará (2021), o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), em Caixa Econômica Federal (2018), e o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em DNIT (2021). Esses bancos de composições possuem os coeficientes calculados baseados em obras anteriores, e os preços são atualizados de forma periódica.

Existem indicadores para mensurar a produtividade de uma equipe de trabalho, dentre eles a Razão Unitária de Produção (RUP). Esse indicador começou a ser introduzido no Brasil por meio de estudos realizados por Souza (1998), sendo citado e utilizado nas construções de edificações por diversos autores. Marchiori (2009) sugere que os coeficientes de produtividade devem contemplar a produtividade variável, possibilitando adaptação do orçamento às mudanças de projeto. Em Souza (2017) é possível notar que a ênfase é dada para materiais e mão de obra, sem levar em conta os equipamentos, o que faz bastante sentido para obras de edificações.

Dornelas (2013, p. 37-41) propõe um novo modelo de prognóstico da produtividade para serviços de terraplenagem e pavimentação asfáltica de rodovias, desenvolvido com base no conceito de produtividade variável. O estudo conclui o seguinte:

As imprecisões contidas nos manuais orçamentários estudados impossibilitam a tomada de decisões confiáveis, inviabilizando os processos de orçamentação e a gestão da produção. Para aprimorar os manuais existentes, a proposição de um novo modelo de prognóstico da produtividade na execução de terraplenagem e pavimentação asfáltica é fundamental.

Isso denota a cautela que se deve ter ao adotar os valores indicados pelos bancos de composição sem prévia avaliação das condições específicas do projeto trabalhado. O autor afirma que, seguramente, ainda há um campo enorme a ser explorado quanto ao tema proposto em seu trabalho: Estudos de métodos para prognósticos da produtividade na execução de rodovias: Terraplenagem e pavimentação asfáltica – Uma nova abordagem. Ele teve foco em obras rodoviárias, citando, como exemplos, uma obra do Rodoanel Mário Covas e outra do Aeroporto de Guarulhos, não abordando aspectos urbanos específicos, como fiação, ligações subterrâneas e largura de ruas.

As variáveis estudadas por Dornelas (2013), para o serviço de escavação de solo em 1ª categoria, são apresentadas na Tabela.3.

Tabela 3 – Síntese dos fatores e das anormalidades: escavação e carga de material de 1ª categoria (continua)

Aproxima do 1º Quartil	Aproxima do 3º Quartil
Condições climáticas instáveis	Condições climática estáveis
Umidade do solo maior que do que a projetada	Umidade do solo compatível com a projetada
Solo com maior dificuldade de penetração	Solo facilmente penetrável
Escavação no nível do terreno	Escavação em barranco (diminui o tempo de ciclo entre a escavação, carga e manobra, aumentando a eficiência)
Terreno muito acidentado	Terreno pouco acidentado
Equipamento de escavação menos compatível com as características do terreno	Equipamento de escavação compatível com as características do terreno
Equipamento com alta manutenção durante a operação	Equipamento com baixa manutenção durante operação
Problemas com abastecimento de combustível (falta de combustível)	Equipamento abastecido (combustível)
Alto índice de ausência do operador (tem muitas faltas)	Baixo índice de ausência do operador (tem poucas faltas)

Tabela 3 – Síntese dos fatores e das anormalidades: escavação e carga de material de 1ª categoria (conclusão)

Aproxima do 1º Quartil	Aproxima do 3º Quartil
Operador menos treinado	Operador treinado
Comete erros grosseiros em relação ao projetado (retrabalho)	Serviço executado de acordo com o projeto (evita erros grosseiros o que poderiam aumentar o volume da escavação)
Mais tempo para executar a atividade (prazos extensos)	Pouco tempo para executar a atividade (prazos curtos)
Má continuidade e sequência de operações entre cada atividade	Boa continuidade e sequência de operações entre cada atividade
Menos frentes sendo atendidas (de aterro ou DME ⁰¹)	Mais frentes sendo atendidas (de aterro ou DME)
Quantidade e capacidade de caminhões menos compatível com a frente de serviço	Quantidade e capacidade de caminhões compatível com a frente de serviço
DMT ⁰² maior (distância entre corte e aterro atendido)	DMT ⁰² menor (distância entre corte e aterro atendido)

⁰¹DME: depósito de material excedente;

⁰²DMT: distância média de transporte.

Fonte: DORNELAS (2013 p. 187)

Conclui-se, então, que o trabalho acompanha a mesma metodologia de Souza (2008), o qual, inclusive, orientou o trabalho de Dornelas (2013). As variáveis fazem tender para o primeiro quartil, sendo maiores as dificuldades, ou para o terceiro quartil, se menores as dificuldades, conforme a Tabela 3.

Para Dantas (2006) faz-se necessário saber o quanto foi produzido e assim fazer comparações entre diferentes situações que o serviço possa apresentar. Por sua vez, Dantas (2011) estabeleceu que quanto menor for o valor da RUP calculada, maior será a produtividade no serviço em questão.

Souza (2001) classifica os indicadores de produtividade de acordo com a abrangência e com o intervalo de tempo. De acordo com a primeira classificação, existem três tipos de RUP, a saber:

- a) RUP Oficial: associada aos oficiais, calceteiros, pedreiros ou demais profissionais, envolvidos na atividade;

- b) RUP Direta: associada aos oficiais e ajudantes envolvidos diretamente na atividade;
- c) RUP Global: associada a toda a mão de obra envolvida na atividade.

Com relação à segunda classificação, há quatro RUP comumente estudadas.

- a) RUP Diária: o intervalo de tempo considerado é de um dia de serviço;
- b) RUP Cumulativa: refere-se à produtividade acumulada em um determinado intervalo de tempo;
- c) RUP Cíclica: utilizada quando a atividade possui ciclos de produção bem definidos;
- d) RUP Potencial: calculada a partir da mediana dos valores de RUP Diária menores ou iguais a RUP Cumulativa. Essa RUP representa um valor de RUP Diária associado à sensação de desempenho adequado e que se mostra factível em função dos valores de RUP Diária detectados.

A formulação geral para encontrar a RUP é apresentada na Equação 3.

$$RUP = \frac{Entradas}{Saídas} = \frac{Hh}{QS} = \frac{Eh}{QS} \quad (3)$$

em que:

Hh = Homens-horas utilizados;

Eh = Equipamentos-horas utilizados;

QS = Quantidade de serviço executado pela equipe.

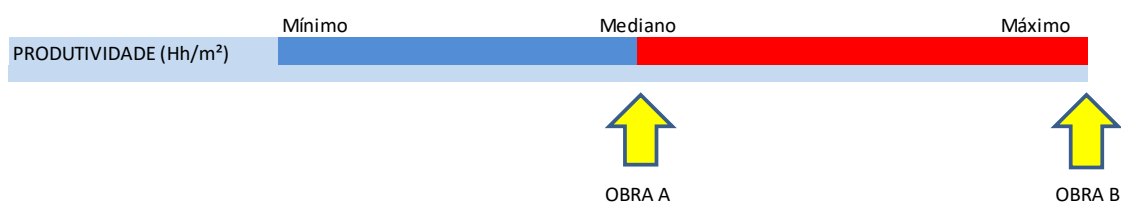
Uma ponderação importante a ser feita é que, para equipamentos, o mesmo raciocínio pode ser aplicado, uma vez que sua função é análoga aos homens-horas. Isso significa que se podem associar as horas dos equipamentos do mesmo modo em que foram associadas as horas de homens, tornando homens-hora em equipamentos-hora.

A depender do tipo de obra, edificações ou viárias, a produtividade média adotada pode não ser condizente com o coeficiente médio da composição de custos. Dantas (2011) exemplifica fatores que podem afetar a produtividade: projeto (relações de dependência entre os serviços, complexidade de execução), ambiente físico (temperatura, umidade e eventos climáticos), ambiente social (motivação e valorização do trabalho), recursos (falta de material, logística de transporte, desperdício, treinamentos das equipes).

Para terraplenagem dentro da zona urbana densa, pode-se, ainda, acrescentar fatores do ambiente físico como as interferências subterrâneas, fiações aéreas e proximidade dos muros das edificações em vias estreitas, afetando diretamente a produtividade do serviço.

Para melhor estimar, o conceito de produtividade variável foi adotado na revista Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO), em PINI (2008). Ele consiste em adotar um intervalo de produtividade de acordo com as variáveis específicas do referido serviço. De tal modo, o serviço apresenta um intervalo possível de produtividades. A Figura 4 representa esse intervalo e os fatores que deslocam para a esquerda ou para a direita, caso aumente ou reduza a produtividade, respectivamente (PINI, 2008). Certamente, a obra B apresenta condições mais desfavoráveis à execução dos serviços, devendo-se adotar um valor de produtividade entre o máximo e a mediana.

Figura 4 – Variação de produtividade



Fonte: PINI (2008).

De acordo com PINI (2008), as faixas de valores de produtividade variável poderão servir para o usuário ter maior ciência dos eventuais afastamentos esperados com relação aos valores adotados. Em suma, ao se conhecerem as causas que fazem variar a produtividade, pode-se fazer um balanço quanto aos que diminuem ou aumentem a quantidade de trabalho por tempo. Desse modo, adotar-se-ia um valor mais ou menos afastado do valor mediano apresentado na composição de custos.

3 ESTUDO DE CASO

Como forma de aplicar os conceitos de Razão Unitária de Produção diária (RUP diária) e produtividade variável, foi realizado um estudo de caso. Trata-se de uma região, antes do projeto, desprovida de serviços de infraestrutura, onde a execução representa uma melhoria na interligação entre as vias e a eliminação de pontos de alagamentos pertinentes no período de chuvas.

3.1 Método de pesquisa

O método de pesquisa do estudo de caso seguiu o fluxograma indicado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma resumo do método de pesquisa

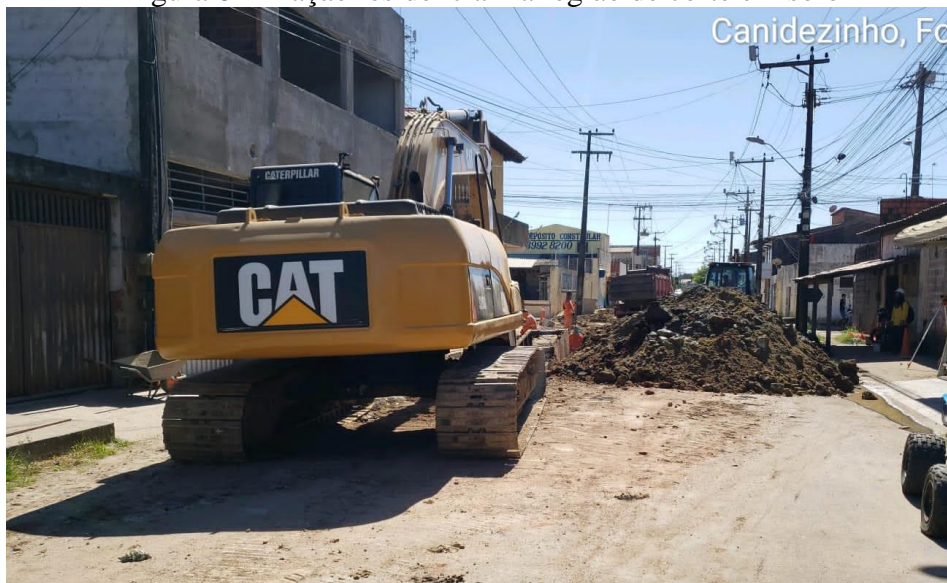


Fonte: O autor (2021)

Para calcular a Razão Unitária de Produção (RUP), foram levantados os dados, como as horas trabalhadas e o volume escavado por dia, de apropriação de campo referente ao serviço de escavação. Para isso, a topografia da obra informou o estaqueamento e a largura dos trechos escavados pela escavadeira hidráulica. Com posse dessas informações, a equipe de engenharia pode calcular as produtividades e, conseqüentemente, a RUP diária.

Além disso, para comparar os resultados, os trechos foram analisados qualitativamente. Foi verificado, nos projetos complementares, se o trecho da via urbana possuía instalações subterrâneas, como esgoto e drenagem, e o nível de interferência aérea com a fiação urbana. As interferências podem ser divididas em dois grandes grupos: no solo e as aéreas. No caso das interferências no solo, têm-se as obras complementares, como as redes de esgoto e de drenagem. Nessas situações, o tempo gasto é tanto maior quanto maior o nível dessas interferências. As outras são relativas às residências e à fiação aérea da rua, as quais aumentaram consideravelmente o tempo de manobra da lança da escavadeira, registrado na Figura 6, a qual denota essa dificuldade.

Figura 6 – Fiação residencial na região de corte em solo

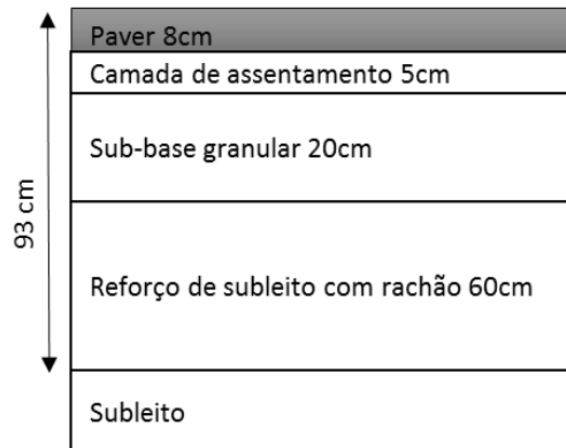


Fonte: O autor

3.2 Características da obra estudada

O local da obra é uma poligonal situada na região Oeste de Fortaleza-CE. A poligonal possui cerca de 20 km de ruas que foram pavimentadas em revestimento intertravado, com sub-base de material arenoso e reforço de subleito com pedra rachão, de acordo com a seção tipo apresentada na Figura 7. Não houve contagem de tráfego para determinação do Número N. Contudo, pode-se estimar pela PMSP (2004), o valor de 10^5 para o Número N, dadas as características locais. Assim, o tráfego é considerado leve. Pode-se observar que o serviço de escavação nesse tipo de obra é consideravelmente elevado. Para se ter uma ordem de grandeza, no estudo de caso, o volume aproximado escavado nos cerca de 20,0 km de ruas é em torno 120.000,00 m³.

Figura 7 – Seção tipo de pavimentação da obra em estudo



Fonte: O autor (2021)

Por ser uma obra em região residencial, as cotas de soleiras das residências foram examinadas e mantidas, para que não ficassem abaixo da cota de greide do pavimento acabado, resultando no afogamento das casas. Diversos serviços foram necessários para se executar a via. Primeiramente, faz-se necessário escavar o solo até cota definida (Figura 8a). Após essa etapa, inicia-se a execução do reforço do subleito com pedra rachão (Figura 8b).

Figura 8 – (a) Escavação de solo natural e (b) execução de reforço do subleito



Fonte: O autor (2021)

Após essa etapa, iniciam-se a execução das duas últimas camadas, uma de sub-base (Figura 9a) e a outra de revestimento de piso intertravado em colchão de pó de pedra (Figura 9b). Cabe notar que o revestimento é aplicado diretamente na sub-base, sem a presença, então, de camada de base.

Figura 9 – (a) Execução de sub-base e de (b) revestimento em piso intertravado



Fonte: O autor (2021)

3.3 Levantamento de dados e cálculo dos indicadores

Para calcular os indicadores foram necessários dados de apropriação dos serviços da obra por meio da coleta das informações de quantidades dos serviços executados e as horas de equipamentos envolvidos. Para isso, analisaram-se as Notas de Serviço (NS) e foi-se a campo coletar as seguintes informações:

- a) estaqueamento do serviço;
- b) tempo dispendido;
- c) largura e profundidade dos cortes.

O estaqueamento, juntamente com as NS e as seções do projeto de pavimentação, foram necessários para se determinar as quantidades produzidas. Com isso e mais o tempo dispendido e equipamentos envolvidos, pode-se chegar aos valores de produtividade do trecho estudado.

O serviço deste estudo de caso é o de corte em solo. Dessa maneira, foram dois os equipamentos utilizados: a escavadeira hidráulica e os caminhões basculantes. Portanto, para calcular a RUP diária, verificou-se o volume produzido em um dia para as nove horas de trabalho. Isso pode ser feito somente porque os caminhões basculantes ocorrem em abundância, o que fez com que a escavadeira fosse a líder da patrulha e não tivesse interrupções significativas.

3.4 Identificação e classificação das variáveis de produtividade

Três foram os fatores identificados com maior potencial de correlação com a produtividade: (i) interferências aéreas de fiações, (ii) subterrâneas de redes de drenagem e

esgoto e (iii) largura reduzida das ruas. A Tabela 4 sintetiza a forma classificada para posterior comparação entre os fatores.

Desse modo, deve-se identificar e, principalmente, quantificar a intensidade de atuação de cada variável da Tabela 4. No caso da fiação, ela toma ainda mais relevância no presente trabalho devido ao fato de a obra ser em região povoada e, conseqüentemente, possuir ligações de energia elétrica, telefônica, internet etc.

As instalações subterrâneas podem variar de nenhuma para alta densidade de interferências, quando a rua possui rede dupla de esgotamento sanitário, galerias e bocas de lobo para drenagem de águas pluviais, cabeamento de fibra óptica, gás, etc. Para compreender isso, a Figura 10 exhibe a situação explicada. A Figura 10 (a) indica o trecho escavado com a galeria no seu eixo. Na Figura 10 (b) é apresentado esse mesmo trecho com o reforço de subleito aplicado.

Tabela 4 – Descrição das variáveis investigadas

	Mínima	Média	Máxima
VARIÁVEIS			
	RUP (Eh/m³)		
Fiação aérea	Postes espaçados em mais de 30 metros e baixa densidade de ligações residenciais		Postes pouco espaçados (menos que 30 metros) e alta densidade de ligações residenciais.
Instalações subterrâneas	Nenhuma ou, no máximo, rede simples de coletor de esgoto.		Redes de esgoto dupla e/ou presença de coletores de águas pluviais.
Largura da via	Larga (maior ou igual a 5,50 m)		Estreita (menor que 5,50 m)

Fonte: O autor (2021)

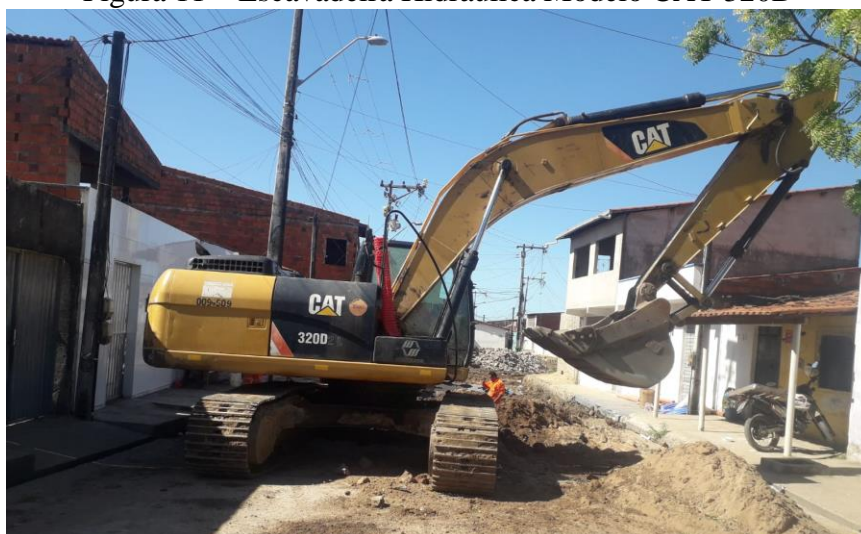
Figura 10 – (a) Escavação em solo natural e (b) execução de reforço do subleito com presença de interferência subterrânea de galeria de drenagem



Fonte: O autor (2021)

A largura da via interfere na mobilidade do equipamento utilizado, uma escavadeira com largura e comprimentos médios de 2,80m e 4,45m, como apresentado na Figura 11. Em vista disso, considera-se um raio de atuação confortável de 5,50m. Abaixo dessa distância o operador deverá realizar movimentos que seriam desnecessários em maiores larguras.

Figura 11 – Escavadeira Hidráulica Modelo CAT 320D



Fonte: O autor (2021)

Para comparar os resultados, foram estabelecidos quatro casos específicos com as variáveis citadas na Tabela 5. O Caso 1 é um trecho teórico que possui as melhores condições de trabalho, como largura acima de 5,5 m, somente ligação simples de esgoto subterrâneo e rara ou nenhuma fiação aérea. Para o Caso 2 em diante as variáveis influenciam em pelo menos uma; o Caso 2 é um trecho em que se considera mais de uma ligação subterrânea. O Caso 3 apresenta uma rua com alta densidade de fiação aérea. O Caso 4 apresenta um trecho com largura abaixo de 5,5 m. Assim, foram quatro configurações analisadas separadamente

Tabela 5 – Divisão dos casos estudados

Caso	Largura	Ligação subterrânea	Fiação aérea
Caso 1	Maior que 5,5m	Esgoto simples	Baixa densidade
Caso 2	Maior que 5,5m	Esgoto duplo e rede de drenagem	Baixa densidade
Caso 3	Maior que 5,5m	Esgoto simples	Alta densidade
Caso 4	Menor que 5,5 m	Esgoto simples	Baixa densidade

Fonte: O autor (2021)

3.5 Cálculo da produtividade

Devem-se calcular as RUP dos casos e, conseqüentemente, o intervalo de produtividade variável do serviço. Para calcular a RUP são necessárias as informações destacadas na Equação 3. O volume de serviço é obtido por meio do estaqueamento, larguras e profundidades do trecho. Na ordem consta a rua, data de execução do serviço, estaqueamento, profundidades, indicação das variáveis específicas do trecho, como fiação aérea, ligações subterrâneas e a largura da rua.

3.5.1 Quantidade de serviço

O comprimento é obtido pelo levantamento planialtimétrico ao indicar o estaqueamento executado do trecho. A Tabela 6 apresenta o cálculo utilizado para obter os comprimentos dos trechos.

Tabela 6 – Cálculo do comprimento dos trechos

RUA	DATA	INICIAL	+	Compl.(m)	FINAL	+	Compl.(m)	COMP.
Giuliano Rossi (Trecho 01)	24/09/20	0,00	+	5,00	1,00	+	0,00	15,00
	24/09/20	1,00	+	0,00	2,00	+	0,00	20,00
	24/09/20	2,00	+	0,00	2,00	+	7,60	7,60
	24/09/20	2,00	+	7,60	2,00	+	16,43	8,83
	24/09/20	2,00	+	16,43	3,00	+	0,00	3,57
	24/09/20	3,00	+	0,00	4,00	+	0,00	20,00
	24/09/20	4,00	+	0,00	4,00	+	17,52	17,52

Fonte: O autor (2021)

Além do comprimento, para obter o volume de serviço é necessário encontrar as profundidades dos cortes. As profundidades são obtidas, também, pelo levantamento planialtimétrico, ela é a diferença de cota do terreno natural e a cota do subleito. Para isso, a Tabela 7 indica as profundidades de bordo e eixo da rua Giuliano Rossi, além do volume do corte. As profundidades h1 e h3 são as profundidades de bordo da via, h2 a de eixo. Com as profundidades e largura dos trechos, obtêm-se as áreas das seções de corte. Com os comprimentos da Tabela 6 podem-se calcular os volumes na Tabela 7.

Considerando a escavadeira como a líder da patrulha, e executando somente o serviço de escavação no dia, adotam-se 9 horas de equipamentos para o cálculo da RUP diária, conforme Equação 4. O volume de serviço, então, para o trecho exemplo, é de 561,86

m³. De forma análoga, calculam-se as RUP para os demais trechos, conforme apresentado e discutido no Capítulo de resultados.

$$RUP = \frac{Entradas}{Saídas} = \frac{Hh}{QS} = \frac{Eh}{QS} = \frac{9,0}{561,86} = 0,016018 \text{ Eh/m}^3 \quad (4)$$

em que:

Hh = Homens-horas utilizados;

Eh = Equipamentos-horas utilizados;

QS = Quantidade de serviço executado pela equipe.

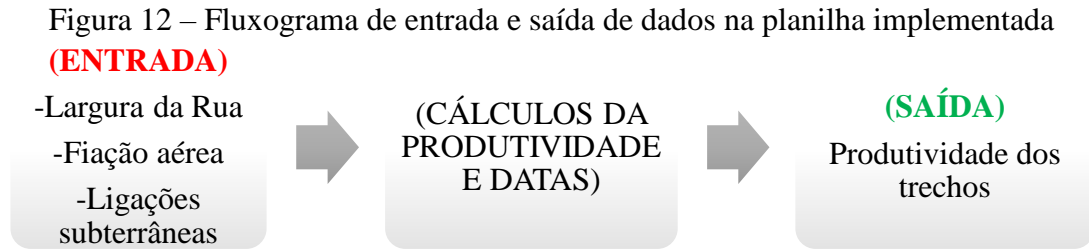
Tabela 7 – Volume dos cortes

RUA	h1	h2	h3	LARG. DA ESCAV.	ÁREA DA ESCAV. M ²	VOLUME DA ESCAV. M ³	VOLUME DIÁRIO M ³
Giuliano Rossi (Trecho 01)	0,93	1,01	0,93	5,80	5,63	81,32	561,86
	0,86	0,94	0,86	5,80	5,21	108,61	561,86
	0,93	1,02	0,93	5,80	5,65	46,10	561,86
	0,93	1,02	0,93	6,65	6,48	57,14	561,86
	0,92	1,02	0,92	6,65	6,46	23,24	561,86
	0,94	1,03	0,94	6,65	6,56	127,30	561,86
	0,88	0,98	0,88	6,65	6,17	118,15	561,86

Fonte: O autor (2021)

3.5.2 Desenvolvimento de uma planilha de cálculo de produtividade para o serviço de corte em solo

Do ponto de vista prático, notou-se a necessidade de se calcular a produtividade de forma mais ágil. Em vista disso, para auxiliar o Engenheiro responsável pelo planejamento da obra, elaborou-se uma planilha que tem como dados de entrada a largura da rua e características das interferências aéreas e subterrâneas. Fornecendo essas informações é possível obter a produtividade e data de término do trecho avaliado. A Figura 12 apresenta o fluxograma de trabalho da planilha implementada.



Fonte: O autor (2021)

A planilha realiza os cálculos conforme a Equação 3, cálculo da RUP. A partir disso, calcula e prevê a data de término do serviço a partir da data de início informada previamente. Sua interface é abordada no Capítulo de resultados

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da coleta de dados em campo, elaborou-se a Tabela 8, a qual sintetiza as produtividades médias encontradas em dois meses de avaliação.

Tabela 8 – Produtividade média entre dois meses quaisquer

Mês	RUP (Eh/m³)	Produtividade (m³/h)
Novembro	0,0212	47,24
Dezembro	0,0163	61,27
Diferença	30%	

Fonte: O autor (2021)

Pode se observar que a produtividade variou 30,0% de um mês para o outro. Para explicar isso, os fatores externos precisam ser avaliados. O serviço de escavação é o relativo ao corte de cerca de 90 cm de solo natural para posterior construção da pavimentação. Como a obra é dentro da cidade, há interferências diferentes entre as ruas, que ocasionou essa variação significativa de produtividade entre os dois meses subsequentes. Diante disso, para investigar essa diferença, as variáveis foram estudadas isoladamente e estão apresentadas nos tópicos seguintes.

4.1 Variação da produtividade com a variação da largura da via (Caso 01 versus Caso 04)

O Caso 01 representa o trecho em melhores condições, via larga e com poucas ou nenhuma interferência. O Caso 04 indica os trechos com largura reduzida, menor que 5,50 m. Desse modo, investiga-se a correlação da variável largura da rua com a Razão Unitária de Produção (RUP).

Os valores indicam que essa seja a variável mais impactante na produtividade do serviço de corte em solo. Ao se reduzir a largura, surgem diversos problemas práticos. O principal é a dificuldade de movimentação da esteira da escavadeira. Soma-se a isso, a redução da mobilidade da lança devido à sobreposição do seu raio de atuação com os muros das edificações existentes.

O quadro indica as diferenças quando se comparam ruas mais estreitas com ruas mais largas. É razoável esperar que as ruas mais largas sejam de melhor execução. E, de fato, foi o que indicou a investigação apresentada na Tabela 9.

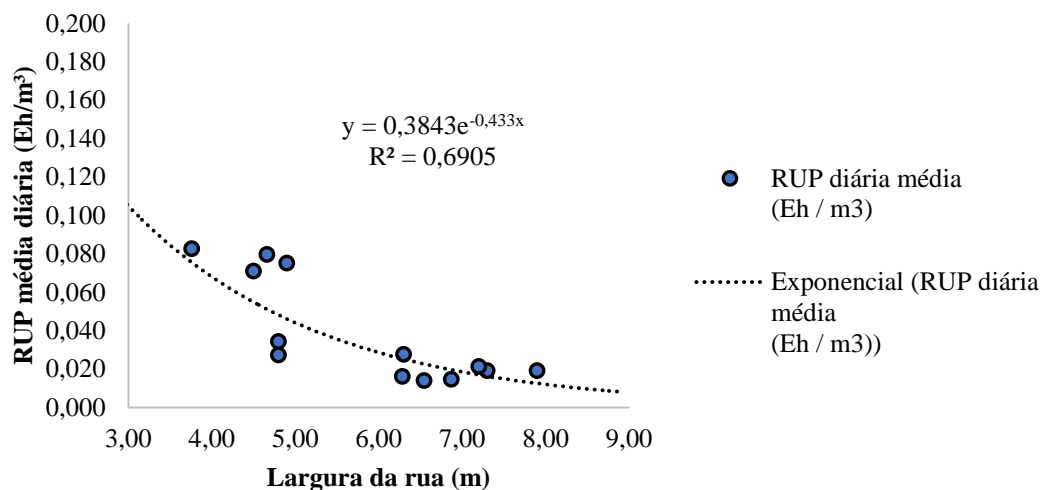
Tabela 9 – RUP e Produtividade para diferentes larguras

Rótulos de Linha	Largura média de escavação (m)	Produtividade média (m ³ / h)	RUP diária média (Eh / m ³)
Eliza de Oliveira (Trecho 1)	4,50	14,11	0,071
Eliza de Oliveira (Trecho 2)	3,76	12,11	0,083
Giuliano Rossi (Trecho 01)	6,29	62,50	0,016
Giuliano Rossi (Trecho 02)	6,87	68,97	0,015
Giuliano Rossi (Trecho 03)	6,54	71,94	0,014
Pedro Viana (Trecho 01)	7,3	52,63	0,019
Pedro Viana (Trecho 02)	7,9	52,36	0,019
Pedro Viana (Trecho 03)	7,2	47,17	0,021
Pedro Viana (Trecho 04)	4,8	36,76	0,027
Pedro Viana (Trecho 05)	4,8	29,24	0,034
Rua Olímpio Batista (Trecho 01)	6,3	36,36	0,028
Rua Olímpio Batista (Trecho 02)	4,9	13,31	0,075
Rua Olímpio Batista (Trecho 03)	4,66	12,57	0,080

Fonte: O autor (2021)

O gráfico de dispersão da Figura 13 indica a correlação entre a largura da rua e a RUP diária, com $R^2 = 0,716$, o que indica tendência de correlação entre as variáveis.

Figura 13 – Gráfico de dispersão RUP diária versus Largura da rua



Fonte: O autor (2021)

$$y = 0,3843e^{-0,433x} \quad (5)$$

em que:

y = Razão Unitária de Produção diária (RUP diária) (hh/m³);

x = largura da rua (m)

4.2 Variação da produtividade com o nível de interferências subterrâneas

Uma instalação subterrânea exige que o operador da escavadeira precise redobrar os cuidados para cada ciclo do serviço. Isso porque a máquina não pode, sob pena de prejuízo e retrabalho, danificar a instalação pré-existente. No estudo de caso, essa instalação é de rede dupla de esgoto e, entre essas duas redes, uma galeria de drenagem urbana com seção de 1,10m de largura por 0,80m de altura. Com essa quantidade de obstáculos, a produtividade foi afetada. O nível de interferências subterrâneas alcançou variação de cerca de 25% para mais na RUP.

Para avaliar esse impacto, foi feita uma comparação de uma rua com os obstáculos supracitados com as ruas sem quaisquer dificuldades, com larguras confortáveis, sem demasiada fiação e com apenas redes simples de esgoto. A diferença foi bastante significativa e está apresentada na Tabela 10 que indica, ainda, um tratamento importante a ser feito nos dados do campo. Devem-se separar as ruas com larguras semelhantes para que a comparação seja a mais isolada possível de outras interferências, deixando todo o mais constante.

Tabela 10 – Comparação de trechos com e sem a presença de ligações subterrâneas de drenagem

Trechos	Largura do trecho (m)	Produtividade (m ³ /h)	Razão Unitária de Produção (Eh/m ³)
Drenagem e Esgoto duplo			
Rua Euclides Paulino Barroso	9,29	47,98	0,0208
MÉDIAS	9,29	47,98	0,0208
Esgoto Simples			
Pedro Viana Freire (Trecho 02)	7,90	52,40	0,0191
Pedro Viana Freire (Trecho 01)	7,30	52,61	0,0190
Pedro Viana Freire (Trecho 03)	7,20	47,15	0,0212
Giuliano Rossi (Trecho 02)	6,87	68,87	0,0145
Giuliano Rossi (Trecho 03)	6,54	72,05	0,0139
Giuliano Rossi (Trecho 01)	6,29	62,43	0,0160
MÉDIAS	7,02	59,25	0,0169
Diferença percentual		23,49%	

Fonte: O autor (2021)

Diante desse resultado, de 23,49%, a produtividade deve ser reconsiderada quando o trecho possuir ligações subterrâneas complexas, como foi o caso da rede de drenagem da rua Euclides Paulino. Logo, na planilha de cálculo, um fator foi aplicado caso a rua possuía tais características.

4.3 Variação da produtividade com a variação das interferências de fiações aéreas

As interferências aéreas são as relativas às fiações residenciais próximas ao trecho trabalhado. Uma vez que a lança da escavadeira deve desviar dos fios, houve a redução da produtividade em cerca de 30% ao se comparar trechos com diferentes densidades de fiações, mas com demais características mantidas. A comparação é entre os casos 1 e 3. A diferença, indicada na Tabela 11, para essa comparação ficou em 29,38%.

Tabela 11 – Comparação de trechos com alta e baixa densidade de fiação aérea residencial

Trechos	Largura do trecho (m)	Produtividade (m³/h)	Razão Unitária de Produção (Eh/m³)
Alta densidade			
Guilhermina de Lima	6,79	50,65	0,0197
Jovina Coimbra	6,77	43,59	0,0229
MÉDIAS	6,78	47,12	0,0212
Baixa densidade			
Pedro Viana Freire (Trecho 02)	7,90	52,40	0,0191
Pedro Viana Freire (Trecho 01)	7,30	52,61	0,0190
Pedro Viana Freire (Trecho 03)	7,20	47,15	0,0212
Aquilina Ferreira (Trecho 02)	7,18	77,41	0,0129
Aquilina Ferreira (Trecho 01)	6,96	54,79	0,0183
Giuliano Rossi (Trecho 02)	6,87	68,87	0,0145
Giuliano Rossi (Trecho 03)	6,54	72,05	0,0139
Giuliano Rossi (Trecho 01)	6,29	62,43	0,0160
MÉDIAS	7,03	60,96	0,0164
Diferença percentual		29,38%	

Fonte: O autor (2021)


Logo, o engenheiro do planejamento deve considerar, mesmo que de modo subjetivo, a quantidade de fiação aérea presente no trecho, pois ficou observado, nos resultados da Tabela 10, que a produtividade média é impactada, negativamente, em 29,38%.

4.4 Planilha de cálculo de produtividade do serviço de corte em solo

Para isso, para simplificar a aplicação prática dos resultados da pesquisa, foi elaborada uma planilha para que o Engenheiro responsável pelo planejamento possa inserir as larguras e características do trecho a ser executado e obtenha a produtividade esperada para aquele determinado trecho. O primeiro passo é colocar a largura e características da rua como indicado na Figura 14.

Figura 14 – Interface de entrada da planilha

<p>1 - LARGURA DE ESCAVAÇÃO DIGITE A LARGURA DE PROJETO</p>	7,00
<p>2 - INTERFERÊNCIAS SUBTERRÂNEAS Informe as Ligações subterrâneas existentes</p>	Esgoto/Água simples
<p>3 - INTERFERÊNCIAS AÉREAS Informe o Nível de fiação Aérea</p>	Alta densidade
<p>4 - VOLUME DE ESCAVAÇÃO Informe o volume a ser escavado, em m³.</p>	890
<p>5 - DATA DE INÍCIO Informe a data de início da escavação</p>	03/06/2021



Fonte: O autor (2021)

No exemplo da Figura 14, a largura da rua é 7,00m, ligações subterrâneas não significativas e interferências aéreas com fiação densas. O volume de serviço informado foi de 890 m³ e a data de início da escavação foi 16/08/2021. Após inserir essas informações, a planilha calcula e informa a produtividade e data útil de término da escavação do volume de serviço informado. A interface de saída dos dados é a indicada na Tabela 12.

Pode-se observar que, de acordo com a produtividade calculada, o tempo de execução do serviço será de 3 dias, com data de término em 08/06/2021. Os resultados com as diferentes produtividades alcançadas, sob as três variáveis estudadas, estão sintetizados na Tabela 13.

De acordo com o nível de interferências, a produtividade é deslocada para esquerda ou para a direita. O maior valor encontrado foi de 77,41 m³/h. De fato, esse resultado era o esperado, pois a rua possuía largura maior que 5,50m, somente rede simples e quase nenhuma ligação aérea que pudesse reduzir a produtividade. A menor, de 8,19 m³/h foi de uma rua com largura baixa de cerca de 3,58 m, o que tornou a tarefa da escavadeira extremamente dificultosa.

Tabela 12 – Interface de saída da planilha

1 - RESULTADOS	
RUP diária (Eh/m ³)	0,0241
Produtividade (m ³)	41,47
2 - PERÍODO	
Tempo (d)	3
Data início	03/06/2021
Data término	08/06/2021
VOLTAR	

Fonte: O autor (2021)

Tabela 13 – Descrição das variáveis investigadas

	Mínima	Mediana	Máxima
	77,41 m³/h	47,15	8,19 m³/h
	0,0129 Eh/m³	0,02120	0,122 Eh/m³
VARIÁVEIS	RUP (Eh/m ³)		
Largura da via	Larga (maior que 5,50 m)		Estreita (menor que 5,50 m)
Instalações subterrâneas	Nenhuma ou, no máximo, rede simples de coletor de esgoto.		Redes de esgoto dupla e/ou presença de coletores de águas pluviais.
Fiação aérea	Postes espaçados em mais de 30 metros e baixa densidade de ligações residenciais		Postes pouco espaçados (menos de 30 metros) e alta densidade de ligações residenciais.

Fonte: Adaptado de PINI (2008)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho permitiu avaliar a variação da produtividade com variáveis características do local do projeto. Isso permitiu analisar o impacto no orçamento e prazo da obra em estudo de caso, após compreender como as variáveis afetam o tempo de execução do serviço de corte em solo. Para isso, foram estudadas as variações de produtividade com a largura da rua, interferências com fiação aérea e ligações subterrâneas.

De acordo com os resultados, notou-se a predominância da variação da largura da rua no impacto da produtividade. Logo, inserindo os pontos em um gráfico de dispersão, elaborou-se uma função exponencial da variação da Razão Unitária de Produção (RUP) com a variação da largura da rua. Conclui-se que a produtividade varia com a largura de acordo com a equação exponencial 5. As outras duas variáveis – Ligações subterrâneas e Fiação aérea – resultaram em variações de 23,49% e 29,38%, respectivamente.

Observa-se, ao se comparar os resultados obtidos nos itens ligações subterrâneas e fiações aéreas, que este último foi mais impactante. Essa variável torna-se inevitável em vários trechos em ambiente urbano, como no estudo de caso.

Desse modo, devem-se considerar, na fase de planejamento, quando os trechos possuem determinadas interferências inerentes ao ambiente em que o projeto está inserido. Afinal, um impacto de 30% provoca atraso significativo da obra. Para tanto, objetivando simplificar a aplicação prática dos resultados da pesquisa, foi elaborada uma planilha para que o engenheiro responsável pelo planejamento pudesse inserir as larguras e características do trecho a ser executado e obtivesse a produtividade esperada para aquele determinado trecho. Portanto, a pesquisa obteve os resultados esperados e, além disso, gerou uma ferramenta importante na tomada de decisão na fase de planejamento.

Para próximas pesquisas relacionadas, é interessante avaliar novas variáveis e novos serviços, com ênfase nos serviços pertencentes ao caminho crítico do projeto. Uma variável importante é a influência da precipitação pluviométrica na produtividade, a qual foi uma limitação do presente trabalho. Portanto, recomenda-se avaliar essa variável para os períodos chuvosos.

REFERÊNCIAS

- ARTERIS, C. D. D. T. **Terraplanagem – Execução De Cortes**. 2015.
- BRASIL, C. N. D. **Lei de Licitações Públicas 8.666**. Brasília, 1993.
- BRASIL, C. N. D. **Código De Trânsito Brasileiro**. Brasília: [s.n.], 1997.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. 2018.
- CEARÁ. **Departamento Estadual de Rodovias - Informativo Gerencial**. Fortaleza, 2017.
- CEARÁ. **Secretaria da Infraestrutura do Ceará – Relatório de Composições**. Ceará, 2021.
- CNT. PESQUISA CNT DE RODOVIAS. **Confederação Nacional Do Transporte**. Brasília, 2019.
- DANTAS, J. D. F. **Produtividade da mão de obra: estudo de métodos e tempos na indústria da construção civil no subsetor de edificações na cidade de João Pessoa- PB**. 2011. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2011.
- DANTAS, M. M. **Proposição de ações para a melhoria da produtividade da Concretagem em edifícios verticais**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Terraplenagem - Cortes - Especificação de Serviços**. Rio de Janeiro, 2009.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. Rio de Janeiro, 2017.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Sistema de Custos Referenciais de Obras- SICRO**. Rio de Janeiro, 2021.
- DORNELAS, R. C. **Estudo de métodos para prognóstico da produtividade na execução de rodovias: terraplenagem e pavimentação asfáltica - uma nova abordagem**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- MARCHIORI, F. F. **Desenvolvimento de um Método para Elaboração de Redes de Composições de Custos para Orçamentação de Obras de Edificações**. 2009. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

FILIPPI, G. A. D.; MELHADO, S. B. **Um estudo sobre as causas de atrasos de obras: ambiente construído**, v. 15, n. 3, Porto Alegre, 2015.

FORTALEZA, P. M. D. **Lei Orçamentária Anual**. Fortaleza, 2009.

FORTALEZA, P. M. D. **Lei Orçamentária Anual**. Fortaleza, 2020.

PEDROZO, L. G. **Custos da Infraestrutura Rodoviária - análise e sistematização**. Porto Alegre, 2001.

PINI. **TCPO - Tabela de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2008.

PMSP, P. M. D. S. P. **Instrução de Projeto - IP 02: classificação das vias**. São Paulo, 2004.

SOUZA, U. E. L. D. **Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical**. Anais: São Paulo, 1998.

SOUZA, U. E. L. **Método para a previsão da produtividade da mão-de-obra e do consumo unitário de materiais para os serviços de fôrmas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso, revestimentos com gesso e revestimentos cerâmicos**. 2001. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SOUZA, U. E. L. D. **Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil**. CBIC: Brasília, 2017.

SWEIS, G. Delays in construction projects: The case of Jordan. **International Journal of Project Management**. Jordan, 2008.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil consultoria, projeto e execução**. São Paulo: PINI, 2006.

TUMI, S. A. H.; OMRAN, A.; PAKIR, A. H. K. CAUSES OF DELAY IN CONSTRUCTION INDUSTRY IN LIBYA. **The International Conference on Administration and Business**. Bucharest, 2009.

UFPR, U. F. D. P. **Apostila de Introdução à Terraplenagem**. 2015.