

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais

**ANÁLISE DE PONTO ÓTIMO DE REALOCAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO
PRIMÁRIA PARA MINERAÇÃO EM CÂMARAS E PILARES**

RICARDO ANDRE VINCENZI

Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia

Porto Alegre

2015

RICARDO ANDRE VINCENZI

**ANÁLISE DE PONTO ÓTIMO DE REALOCAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO
PRIMÁRIA PARA MINERAÇÃO EM CÂMARAS E PILARES**

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais- PPGE3M, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Área de concentração: Tecnologia mineral

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni

Porto Alegre

2015

RICARDO ANDRE VINCENZI

**ANÁLISE DE PONTO ÓTIMO DE REALOCAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO
PRIMÁRIA PARA MINERAÇÃO EM CÂMARAS E PILARES**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni

Coordenador do PPGEM: Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann.

Aprovada em

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Salvadoretta

Prof. Dr. André Cesar Zingano

Prof. Dr. Jorge Dariano Gavronski

Dedico este trabalho a Nicole Regina Capacchi Hlavac, pelo esforço e apoio incondicionais aos dias de batalha que vivenciamos no dia a dia de nossas vidas, e pelas rezas diárias de minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni, pela enorme capacidade de liderança na busca pelos melhores resultados, sempre presente e atuante, sabendo me orientar nos momentos mais difíceis. Agradeço muito a sua paciência e perseverança, que foram de suma importância para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a todos Professores da UFRGS que sempre me receberam de braços abertos na universidade para conversas sobre a vida profissional e as dificuldades do dia a dia, saber que podemos retornar a Escola de Engenharia de Minas da UFRGS e reencontrar os nossos mestres é muito satisfatório, e com certeza esta escola é a melhor do Brasil por conta deles, em especial quero citar os professores, Paulo Salvadoretti, André Cesar Zingano, João Felipe Coimbra Leite Costa.

Agradeço aos meus colegas que apesar da distância sempre estiveram dispostos a me auxiliar no que fosse necessário, em especial agradecer ao Paulo Roberto Guimarães Mello e Henri Yudi Vatanable.

Agradecer a Carbonífera Metropolitana e todos seus membros, em especial o Diretor Claudio Ivan Wasnievki pelo apoio dado ao trabalho.

Agradecer aos meus amigos pela compreensão nos momentos de ausência.

Agradecer aos meus pais David Afonso Vincenzi e Carmen Olinda Zanardo Vincenzi, que são ambos professores, eles me ensinaram tudo da vida, ensinaram principalmente que a maior batalha a ser vencida é contra nós mesmos e nossas dificuldades.

Conhecer a si próprio é o maior saber.

Galileu Galilei

RESUMO

O método de lavra câmaras e pilares é muito utilizado em minas de carvão subterrâneo, principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, onde todas as minas subterrâneas utilizam este método. Vale ressaltar, porém, que o método apresenta recuperações de lavra abaixo de 50%, dependendo do tamanho dos pilares, e a produtividade é altamente dependente de uma boa concatenação das operações unitárias. Entre os aspectos relacionados à eficiência produtiva, a distância de transporte é um item preponderante no desempenho do sistema. Devido à profundidade da lavra, há um aumento do tamanho dos pilares de sustentação da mina, e assim, surgem problemas relacionados ao incremento no tempo de ciclo de transporte dos equipamentos. O aumento da distância de transporte entre uma frente de lavra com material desmontado e o alimentador/britador primário, reduz o resultado da produção de um conjunto de equipamentos. Em mineração a céu aberto, este tipo de problema é resolvido com o aumento da frota de transporte, todavia, na mineração de carvão subterrânea, não é possível aumentar de forma irrestrita a quantidade de máquinas em subsolo, pois impactaria diretamente na necessidade de incremento da vazão de ar, assim como, limitação de espaço para o tráfego de equipamentos. A aproximação da distância do ponto de descarga para um local adjacente às frentes de serviço é uma alternativa para solucionar a necessidade de incremento da frota de produção. No entanto, o ponto de mudança deve ser avaliado de forma consistente para determinar o momento mais adequado para que essa reaproximação proporcione um resultado ótimo. Este estudo buscou compreender esta etapa necessária ao processo produtivo, utilizando técnicas de regressão para analisar o impacto da distância de transporte na capacidade produtiva. O problema foi modelado e foram propostas alternativas que forneçam um sequenciamento de lavra capaz de amenizar os problemas decorrentes do aumento da distância de transporte das frentes de lavra aos respectivos pontos de descarga. Os resultados demonstraram que a distância de transporte tem influência direta na produção, mas não somente a distância máxima, mas também, uma distância mínima que deve ser respeitada para obter maior produtividade quando se tem a associação de equipamentos de produção. É possível concluir com este estudo que a distância de transporte tem impacto relevante e deve ser considerada, não tão somente no sequenciamento, mas também no dimensionamento da frota e consequente capacidade produtiva.

Palavras-chave: Sequenciamento de lavra subterrânea, Câmaras e Pilares, Carvão, Alimentação primária.

ABSTRACT

The room and pillar mining method is widely used in underground coal mines. Santa Catarina and Paraná where all underground mines use this method. Indeed, the method has mining recoveries below 50% and the productivity is highly dependent on a good concatenation of unit operations. Among the aspects related to production efficiency, the transport distance is an important item on system performance. Due to the depth of the mine, there is an increment in the size of the underground supporting pillars, and consequently, problems related to the increase in equipment cycle times. The increase of the transportation distance between mining faces and the primary crusher reduces the result of a set of production equipment. In open pit mining, this problem is solved by increasing the haulage fleet, however, in the underground coal mining, the number of machines cannot be increased indefinitely because it would impact directly on the need of increased air flow. Therefore, the approximation of the distance from the discharge point to an adjacent location from the mining faces is an alternative to address the need of increased production fleet. However, the relocation point must be evaluated consistently to determine the most appropriate time to get the most from this approach. The goal of the study was to understand this imperative step for the production process, using regression techniques to analyze the impact of transport distance in productive capacity. Based on the experimental design used in this study, alternative proposals provide a mining sequence able to mitigate the problems from increasing transportation distance from mining faces to their discharge points. The results show that the transport distance has directly influence on the production, and it is not limited to the maximum distance. Likewise, a minimum distance must be respected for higher productivity when you have the combination of production equipment. So, it is possible to conclude that the transport distance has a significant impact and must be considered not only during the sequencing, but also when determining the fleet size and consequent production capacity.

Keywords : Schedule for underground mining. Room and pillar. Coal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração típica de uma mina subterrânea de carvão, pelo método Câmaras e Pilares, demonstrando cada elemento: painel de lavra as frentes de serviço (faces).....	25
Figura 2 - Imagem ilustrativa da perfuratriz de frente, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de preparação da face, através da perfuração, para colocação de explosivos ..	28
Figura 3 - Imagem ilustrativa da perfuratriz de teto, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de preparação, serve para sustentação do teto imediato com a perfuração e instalação de tirantes metálicos.	29
Figura 4 - Imagem ilustrativa da carregadeira frontal tipo LHD Toro 400, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção, serve para retirada do material desmontado da frente de lavra até o alimentador.	30
Figura 5 - Imagem ilustrativa do <i>Loader</i> , equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção, serve para retirada do material desmontado da frente de lavra para carregamento em um <i>Shuttle Car</i>	31
Figura 6 - Imagem ilustrativa do <i>Shuttle Car</i> , equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção, serve para retirada do material desmontado da frente de lavra onde o mesmo é carregado pelo <i>loader</i> ou pelo minerador contínuo, transportando o minério para descarga no alimentador.....	32
Figura 7 - Imagem do Minerador contínuo12CM12, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção.....	33
Figura 8 - Imagem ilustrativa do Alimentador/britador, serve como ponto de descarga primária do material desmontado das frentes de serviço.....	33
Figura 9 - Métodos de avanço da lavra: “arrow head,” (ponta de seta), “wedge,”(cunha), “flat wall,” (parede plana) e “expanding mushroom” (expansão cogumelo), as setas em preto mostram a direção da lavra, e as áreas em vermelho demonstram as áreas problemáticas para ventilação. (métodos split- mine, perimeter e unit-ventilation)	36
Figura 10 - ventilação em um painel de lavra. Em azul as setas demonstram o fluxo de ar nas frentes de serviço, em preto os tapumes que direcionam o fluxo de ar, em vermelho o local do alimentador.....	37
Figura 11 - Ventilação em um painel de lavra. Em azul as setas demonstram o fluxo de ar nas frentes de serviço, em preto os tapumes que direcionam o fluxo de ar, em vermelho o local do alimentador.....	37
Figura 12 - Elementos típicos de um painel de lavra no método de câmaras e pilares	40
Figura 13 - Ilustração do avanço do alimentador e da correia transportadora indicado pela flecha a direção e sentido do movimento.	40
Figura 14 - Minerador Contínuo acoplado a uma correia transportadora flexível, sistema de transporte contínuo.....	42
Figura 15 - Avanço máximo por desmonte, em função da área e da largura da seção da galeria	43
Figura 16 - Elementos que influenciam na eficiência de um equipamento e resultado produtivo pela metodologia OEE.	43
Figura 17 - (a) Sequenciamento de lavra para conjunto mecanizado, e (b) para minerador contínuo. Fonte: Farmer (1992).....	45
Figura 18 - Sequenciamento conforme mínima distância de movimentação entre blocos. As setas em azul são a movimentação das máquinas de preparação e as em laranja a movimentação das máquinas de produção.....	47

Figura 19 - Localização da mina em estudo no Brasil e no estado de Santa Catarina.	48
Figura 20 –Sequência estratigráfica simplificada das camadas de carvão, enfatizando a camada Bonito.	49
Figura 21 - Exemplo de sequência de operações unitárias no ciclo produtivo	50
Figura 22 -Gráfico demonstrando a produção de carvão no tempo e a variação da produção em função de quebras operacionais e consequente aumento do coeficiente de variação.....	52
Figura 23 - Fluxograma simplificado do processo de sequenciamento dos blocos do painel de lavra, onde em azul é o início do processo de cálculo de distância, e em marrom o final do processo.....	57
Figura 24 - Demonstração do cálculo de distância entre alimentador e frentes de lavra.	58
Figura 25 - Ilustração da distância entre blocos da movimentação das máquinas de preparação.	59
Figura 26 - Sequência inicial baseada na distância, onde temos as frentes ocupadas por LHD recolhendo carvão; D (desmonte de rocha); PF fazendo os furos de frente; PT realizando o escoramento da galeria.....	63
Figura 27 - Nova configuração do painel de lavra com sequenciamento dos blocos pelo método proposto.....	64
Figura 28 -Histograma dos dados de produção de toneladas de carvão ROM analisados em um ano e quatro meses de produção.....	65
Figura 29 -Produção em toneladas por dia de um período de tempo, demonstrando a variabilidade em função do tempo.	66
Figura 30 - Correlação da produção com relação ao número de frentes de lavra, a lateral a equação de regressão com o valor de R^2	67
Figura 31 - Gráfico de correlação entre produção e os dias, associados ao número de frentes de lavra disponíveis em um ciclo de avanço de correia	68
Figura 32 –Gráficos de etapas de avançamentos do alimentador demonstrando a tendência da regressão, em conjunto com a o número de frentes de lavra no eixo de secundário.....	71
Figura 33 - Gráfico de linhas representando as regressões selecionadas para obtenção do resultado.	73
Figura 34 - Sequenciamento ilustrativo de um painel de lavra onde os números determinam a retirada do bloco, sendo o de menor número o primeiro a ser retirado.Em azul demonstrado o fluxo de ventilação.	75
Figura 35 - Vista em perspectiva (a)e vista superior (b) do projeto da mina com os painéis analisados, verificando.....	76
Figura 36 - Dados de Simulação do EPS representando o número de blocos e a taxa de avanço de lavra	78
Figura 37 - Gráfico de comparação com a simulação realizada com a produção proveniente da simulação e a produção real.	79
Figura 38 - Sequenciamento com uso do Mine 2-4D.....	79
Figura 39 - Distâncias de transporte no quinto dia do sequenciamento, sendo a figura da esquerda a configuração inicial e da direita a DMT no quinto dia.....	80
Figura 40 - Sequenciamento resultante em área de estudo, destacado o bloco em verde como bloco obrigatório, onde existe ao avanço do alimentador implicando em uma nova configuração de distâncias, e em vermelho a posição do alimentador.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo de necessidade de vazão de ar para alguns regulamentos para minas com equipamentos movidos a diesel.....	34
Tabela 2 - Sumário dos dados de densidade para a camada de carvão Bonito.....	46
Tabela 3 - Sumário dos dados de espessura para a camada de carvão Bonito	47
Tabela 4 - Valores de distâncias entre blocos e alimentador.....	58
Tabela 5 -Distância calculada entre blocos.	59
Tabela 6 - Soma da distância até o alimentador e entre blocos	60
Tabela 7 -Número de frentes após retirada do bloco.....	60
Tabela 8 - Número de manobras	60
Tabela 9 -Distância das frentes de serviço ao alimentador	61
Tabela 10 -Distância entre os blocos.....	61
Tabela 11 - Soma das distâncias entre blocos e alimentador	61
Tabela 12 - Soma das distâncias, obrigatória a retirada dos dois primeiros blocos em negrito .	62
Tabela 13 - Soma das distâncias, obrigatória a retirada dos blocos d1, d2, d3... ..	62
Tabela 14 -Resumo de todos os aspectos de decisão	62
Tabela 15 - Sequenciamento por somatório de fatores de maior rendimento	63
Tabela 16 -Sequenciamento demonstrando todos os processos de decisão e fatores relacionados.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Diferentes cenários analisados para a produção envolvendo minerador contínuo e tipos de transporte diferentes.....	42
Quadro 2 - Datas dos avançamentos do alimentador em conjunto com a correia.	66
Quadro 3 - Resultados das regressões polinomiais contendo: R^2 coeficiente de determinação; coeficiente de variação (CV); r (coeficiente de correlação de Pearson), r_{rank} (coeficiente de correlação de Spearman).	69
Quadro 4 - Ponto máximo dos gráficos de regressão.....	73
Quadro 5 - Quadro contendo as produções diárias e a transformação da produção em avanço linear e número de blocos por dia de produção da equação de regressão referente à produção 1 e 2.....	77

Sumário

Capítulo 1	21
INTRODUÇÃO.....	21
1.1. Contextualização do problema	21
1.2. Meta.....	22
1.3. Objetivos	22
1.4. Metodologia	22
1.5. Estrutura da dissertação.....	23
Capítulo 2.....	24
CONCEITOS FUNDAMENTAIS	24
2.1. Método de lavra câmaras e pilares	24
2.2. Conjunto mecanizado.....	27
2.3. Ventilação	34
2.4. Ciclo produtivo.....	38
2.5. Avançamento do alimentador.....	39
2.6. Equipamentos e seus métodos de análise	43
2.7. Sequenciamento de lavra.....	44
2.8. Valoração do Bloco.....	46
Capítulo 3.....	48
METODOLOGIA.....	48
3.1. Localização	48
3.2. Geologia	49
3.3. Lavra do carvão.....	50
3.4. Metodologia de análise e tratamento dos dados	51
3.5. Influência do número de frentes na capacidade de produção.....	53
3.6. Regressão polinomial	53
3.7. Proposta de sequenciamento de lavra.....	56
Capítulo 4.....	65
4.1. Dados de produção	65
4.2. Resultado da regressão	69
4.3. Condições de contorno para o avançamento	74

	20
4.4. Sequenciamento ótimo	75
Capítulo 5	83
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	83
REFERÊNCIAS	85
Anexo	88

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do problema

O método de lavra câmaras e pilares é muito utilizado em minas de carvão subterrâneas, principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, onde todas as minas subterrâneas utilizam este método. Vale ressaltar, porém, que a produtividade é altamente dependente de uma boa concatenação das operações unitárias. Em relação às aplicações, estima-se que, atualmente, 85% do carvão produzido no Brasil é consumido na produção de termoeletricidade, 6% na indústria cimenteira, 4% na indústria de papel celulose e os 5% restantes, nas indústrias de cerâmica, de alimentos e secagem de grãos (CPRM, 2014). Entre os aspectos relacionados à eficiência produtiva, a distância de transporte é um item de relevante impacto.

Durante o processo produtivo de uma mina de carvão subterrânea, o transporte do carvão da frente de lavra até a superfície se dá por meio de diversos equipamentos, entre eles o transporte por carregadeiras frontais chamadas LHDs (*Load Haul and Dump*). Essas descarregam o carvão retirado da frente de serviço em um alimentador britador, onde o carvão passa por um processo primário de cominuição e chega até a superfície por meio de correias transportadoras que abastecem a pilha de carvão bruto ROM (*Run Of Mine*).

Durante o avanço das frentes de operação, a distância de transporte até o alimentador aumenta gradativamente e isto provoca um impacto direto no resultado da produção, diminuindo progressivamente a capacidade produtiva. É possível verificar estes efeitos com maior evidência em minas mais profundas onde existe a necessidade de pilares maiores e tornando-se um gargalo produtivo. Em minas a céu aberto, o aumento da distância de transporte pode ser compensado através do aumento da frota de caminhões para o transporte, o que não é viável em mina de carvão subterrânea pelos efeitos diretos na necessidade de maior quantidade de fluxo de ar, assim como, limitação de espaço para o tráfego de equipamentos. Assim sendo, este estudo quer demonstrar que é possível buscar um sequenciamento de lavra alternativo que determine o momento ideal de avanço do ponto de alimentação primário em função do incremento das distâncias de transporte, de forma que o afastamento das frentes de operação seja equilibrado pelo o avanço do alimentador para reaproximação da frente de lavra.

Esta operação é de extrema importância para a garantia da estabilidade da produção, no entanto é uma definição complexa, visto que existem muitos fatores que são envolvidos nessa tomada de decisão, entre eles:

- abertura de galerias para ventilação;
- extensão dos cabos elétricos das máquinas de preparação (perfuratrizes de teto e frente);
- necessidade de *layout* estratégico para aumento das disponibilidades operacionais das máquinas (número de frentes);

1.2. Meta

A meta dessa dissertação é desenvolver uma metodologia que proporcione a análise prévia da determinação do ponto ótimo para o avanço de um alimentador e a sua respectiva correia transportadora. Acredita-se que a identificação desse ponto de transição serve como indicador chave para incrementar a produtividade e, conseqüentemente, proporcionar maior rentabilidade ao projeto, servindo como um parâmetro auxiliar para otimização e sequenciamento de minas de carvão lavradas pelo método câmaras e pilares.

1.3. Objetivos

Para que seja alcançada a meta traçada para este trabalho, algumas etapas foram superadas gradativamente. Elas foram divididas entre objetivos parciais, os quais definem a progressão do estudo para o atendimento da meta proposta. São eles:

- levantamento de dados do impacto da distância de transporte na produção;
- modelagem matemática do efeito distância por regressão;
- simulação da variável distância;
- implantação de variável em modelo e sequenciamento;
- proposta de modelo matemático para simulação da variável;
- sequenciamento melhorado considerando a metodologia proposta.

1.4. Metodologia

Para desenvolver a metodologia proposta, foram analisados os dados relativos a um ano e quatro meses de produção de um conjunto mecanizado em uma mina subterrânea de carvão, com cobertura próxima a 300 metros. Foram filtrados os dados

impactados por outros eventos e que não influenciam no estudo de caso, tais como quebras de máquinas, perdas operacionais não controladas e demais valores extremos que não representam o comportamento do evento em análise. Para isso, foram levantadas todas as datas de avançamentos de alimentador, identificando o início e o final de um processo analítico que demonstrou a tendência dos dados e o comportamento do evento a ser modelado, servindo de base para a simulação e otimização do processo de tomada de decisão. Realizaram-se, ainda, referências topográficas em subsolo, com uso de equipamento de medida de precisão para determinar o volume de carvão produzido em um dado período, que associado com os dias decorridos do avanço do alimentador, fornece uma demonstração da correlação destes fatores.

1.5. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro sumariza e contextualiza o problema. O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o método de lavra de câmaras e pilares e sobre os equipamentos de lavra usuais. Neste capítulo, serão apresentados alguns conceitos para a fundamentação do estudo realizado, tais como uma breve descrição dos métodos produtivos, equipamentos envolvidos e etapas necessárias para realização do estudo.

No terceiro capítulo está o detalhamento da metodologia proposta no estudo e é onde a forma de aquisição e tratamento de dados está apresentada e discutida. As etapas necessárias para o estudo são organizadas de maneira sequencial e lógica para a análise do resultado dos dados do trabalho. Neste capítulo, também, está descrito o local de trabalho a ser realizada a aplicação da metodologia ao caso de estudo e modeladas todas as variáveis envolvidas.

O capítulo quarto evidencia a análise comparativa e discussão dos resultados, o fechamento de todos os termos adicionados e suas respectivas correlações com os capítulos anteriores.

Por fim, no capítulo quinto, expõem-se as conclusões obtidas através do estudo e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo, estão apresentados alguns conceitos fundamentais para compreensão do estudo realizado, tais como uma breve descrição dos métodos produtivos, equipamentos envolvidos e etapas existentes para contextualização do estudo e uma revisão da literatura sobre o tema de estudo.

2.1. Método de lavra câmaras e pilares

O método de lavra de câmaras e pilares é adaptável a depósitos sub-horizontais regulares, com o avanço horizontal onde o suporte do teto é fornecido por pilares remanescentes naturais do material lavrado - carvão ou minério (pilares barreira, pilares de apoio e articulações) que são deixados intactos ou recuperados posteriormente em um padrão sistemático por lavra em recuo. As galerias são cortadas a partir das entradas de acesso para proporcionar as faces de trabalho (FARMER, 1992).

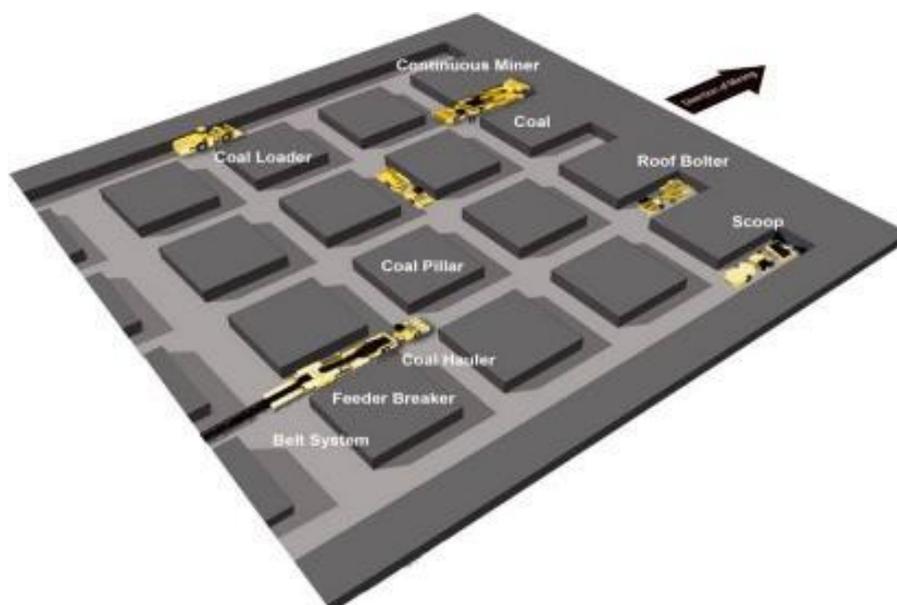
Além do apoio, pilares de carvão, também, são projetados com a finalidade de restringir o movimento de superfície, proteger as vias de ventilação críticas do efeito de distribuição de altas tensões do maciço, formar partições de ventilação para a distribuição do fluxo de ar, agir como elementos de proteção para proporcionar apoio temporário em situações de alta tensão lateral, e como pilares de eixo para proteger outras estruturas críticas das minas que adotam o método de câmaras e pilares (TIEN, 2011). Segundo o mesmo autor, pilares barreira também podem ser usados para formar uma estrutura de suporte de carga para minimizar o impacto de movimentos do maciço de locais adjacentes, para isolar falhas locais principais. Já as articulações servem para proteger vias críticas de transporte, para separar locações e mina adjacente e, mais importante, para fornecer uma barreira para grandes massas de água proveniente de áreas mineradas antigas.

Quando necessário suporte adicional é executado por meio de tirantes (parafusos de teto) ou pórticos de perfil metálico ou madeira (FARMER, 1992), os quais proporcionam maior segurança para acesso as faces de trabalho ou frentes de lavra. O método câmaras e pilares (C&P) têm duas operações básicas: uma é o desenvolvimento dos acessos e a outra a produção de carvão. A primeira operação serve

para desenvolver os acessos e entradas as camadas de carvão, e construir a infraestrutura e suporte necessários para facilitar e escoar a produção de carvão provenientes dos painéis de lavra. Nos painéis de lavra é onde ocorre a segunda operação que corresponde à produção do carvão, que ocorre depois de estabelecida a estrutura operacional necessária para escoamento da produção (Adaptado de BULLOCK, 2011).

A figura 1 mostra uma configuração típica de uma mina de carvão pelo método C&P, enfatizando a diferença entre painel de lavra e frente de serviço. Uma mina possui diversos painéis de lavra, onde ocorrem as etapas de produção, e um painel de lavra possui diversas frentes de serviço onde se concentram as operações unitárias do ciclo produtivo (ou frentes de lavra, frentes de serviço, ou faces).

Figura 1 - Configuração típica de uma mina subterrânea de carvão, pelo método Câmaras e Pilares, demonstrando cada elemento: painel de lavra as frentes de serviço (faces).



Fonte: CAT® ROOM AND PILLAR SOLUTIONS disponível

em: http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/underground-room-and-pillar.html Consulta em 07/10/2015. (tradução: *Continuous Miner* – minerador contínuo; *Coal Loader* – carregadeira de carvão (LHDs); *Roof Bolter* – perfuratriz de teto; *Scoop* – concha carregadeira; *Feeder Breaker* – alimentador britador. *Belt System* – sistema de correia transportadora; *Coal Pillar* – pilar de carvão).

Conforme TIEN (2011), o número de galerias em qualquer área de desenvolvimento pode variar entre três e sete, podendo chegar a onze em alguns casos. O número exato é, muitas vezes, um balanço dos seguintes fatores:

- carga esperada sobre o pilar, devido à sua profundidade ou outra preocupação geotécnica pela presença de aspectos estruturais da geologia (falhas, diques, etc.);
- produção de carvão;

- sistema de suporte a produção esperada (número de equipamentos de mineração que estão a operar, trabalho e material de transporte, ventilação, drenagem, etc.).

De acordo com PEREIRA (2010), as dimensões dos pilares e galerias variam e sua geometria depende de muitos fatores, podendo ter sua forma retangular a quadrada. Entre os principais fatores usados para dimensionar pilares, estão:

- resistência da camada de carvão dos pilares;
- espessura da camada;
- profundidade do depósito;
- método de desmonte a ser utilizado (químico ou mecânico).

Segundo BULLOCK (2011), muitos especialistas em controle de solo maciços e dimensionamento de pilares têm contribuído para o desenvolvimento de métodos para cálculo de pilares, por exemplo, Holland 1964; Salamon e Munro 1967; Hardy e Agapito 1977; e Mark 1999. Os estudos desses autores incluem verificação de fórmulas para concepção de pilares baseadas em estatística associada a um grande banco de dados, comparando os pilares que falharam com os que se mantiveram estáveis. Há, também, estudos voltados a minas de carvão da Austrália e da África do Sul (Galvin et al 1999; Gale e Hebblewhite, 2005). Estes autores, então, utilizam fórmulas empíricas para assegurar a qualidade da estimativa do suporte.

Nas minas de carvão que utilizam o método C&P no estado de Santa Catarina, preconiza-se por uma adaptação à metodologia de Obert – Duvall (1967) que ajusta o efeito de forma e relação de esbeltez (adaptado de BULLOCK, 2011), conforme a equação 1.

$$\sigma_p = \sigma_s \left(0.78 + 0.22 \frac{W}{H} \right) \quad (1)$$

Onde:

- W= Largura do pilar
- H= Altura do pilar
- σ_s = Resistência uniaxial de rocha intacta
- σ_p = Resistência do pilar

Pelo fato dos depósitos estarem superpostos por uma cobertura lito estratigráfica próxima aos 300 metros, os pilares começam a se tornar grandes e, com isso, a distância de transporte aumenta na mesma proporção. Considerando que a mina objeto do estudo é a mais profunda do estado de Santa Catarina, os pilares possuem dimensões, em média, de 40 metros de lado por 3,5 metros de altura. Este incremento mencionado na distância média de transporte (DMT) dificulta muito a questão da manutenção da produção com o tempo. A figura 1 apresenta um esquema contendo os diversos tipos de equipamentos utilizados na mina subterrânea de carvão em um painel típico de C&P.

O método de lavra C&P demonstra ser um método maleável e adaptável e sem dúvida dominante no que tange a extração de carvão em minas subterrâneas do país. Devido à escassez pelo esgotamento das reservas dos depósitos de pequena profundidade, surge o desafio da extração de camadas mais profundas, e, por conseguinte o estudo da variável DMT estará cada vez mais presente na questão do dimensionamento de equipamentos para uso neste tipo de lavra subterrânea.

2.2. Conjunto mecanizado

Em um painel de lavra de uma mina de carvão subterrânea pelo método C&P, são diversos os equipamentos de lavra envolvidos no processo de extração e transporte do carvão. Há uma variedade de equipamentos disponíveis no mercado que podem ser utilizados neste método, porém a escolha do equipamento mais adequado é dependente dos elementos estruturais de um painel de lavra, entre eles, as dimensões dos pilares e galerias de produção em questão que resultam em uma grande distância intra-ciclo. Por isso, deve-se especificar e dimensionar os equipamentos mais recomendados para cada local a ser minerado, levando em conta as características intrínsecas às condições de operação.

Os conjuntos mecanizados podem ter exclusivamente máquinas a diesel ou máquinas elétricas, ou ainda, uma composição de ambas. As desvantagens de equipamentos elétricos é que estes têm alcance reduzido e dificuldade de mudanças de galerias por conta do seu cabo elétrico, enquanto que o equipamento a diesel não possui cabo, apresentando maior mobilidade. A desvantagem dos equipamentos a diesel é que os mesmos necessitam de maior vazão de ar nas frentes de serviço e, por ser um

equipamento de combustão interna, produz mais calor, o que traz desconforto térmico para as operações (JOHNSON, 1992).

Os equipamentos utilizados em mineração subterrânea são divididos em duas categorias: equipamentos de preparação e equipamentos de produção. Os equipamentos de preparação são assim chamados, pois são usados dentro do ciclo operacional para a execução de tarefas necessárias para dar condições de operação para os equipamentos de produção. Na sequência, descrevem-se alguns desses equipamentos de preparação.

Perfuratriz de frente (PF): tem como objetivo a perfuração da face de avanço da frente de serviço para colocação de explosivos para o desmonte de rocha, equipamento elétrico/hidráulico. Em uma operação típica, é realizada uma furação com bit garfo de 63.5 mm com uma haste com um alcance de 3,10 m, onde o operador deve seguir rigorosamente o plano de fogo para garantir que o material tenha granulometria adequada e maior avançamento linear possível. O tempo médio de furação é de em torno de 40 segundos por furo com rotação pura, utilizando água para limpeza do furo e com uma bomba acoplada.

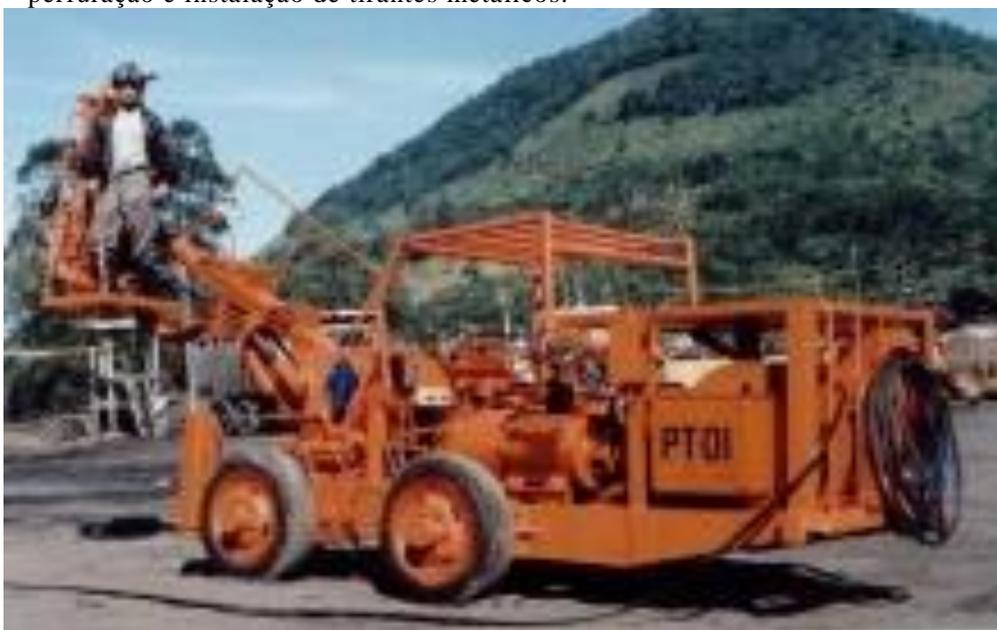
Figura 2 - Imagem ilustrativa da perfuratriz de frente, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de preparação da face, através da perfuração, para colocação de explosivos



Fonte: Carbonífera Metropolitana disponível em:
<<http://www.carboniferametropolitana.com.br/mineracao/metodos>> consulta em 23 Abril2015

Perfuratriz de teto (PT): tem como objetivo a perfuração do teto para colocação de tirantes para sustentação das aberturas subterrâneas. Equipamento elétrico/hidráulico com motor elétrico de 75 CV movimenta duas bombas hidráulicas que permitem a furação roto-percussiva. A perfuratriz pode utilizar um martelo hidráulico para realização do furo, sendo, depois, feita a colocação de resina e realizada a mistura dessa resina no próprio furo por um motor de rotação hidráulico com tempo médio de mistura de 20 segundos. Posteriormente é aplicado o torque para fixação do tirante.

Figura 3 - Imagem ilustrativa da perfuratriz de teto, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de preparação, serve para sustentação do teto imediato com a perfuração e instalação de tirantes metálicos.



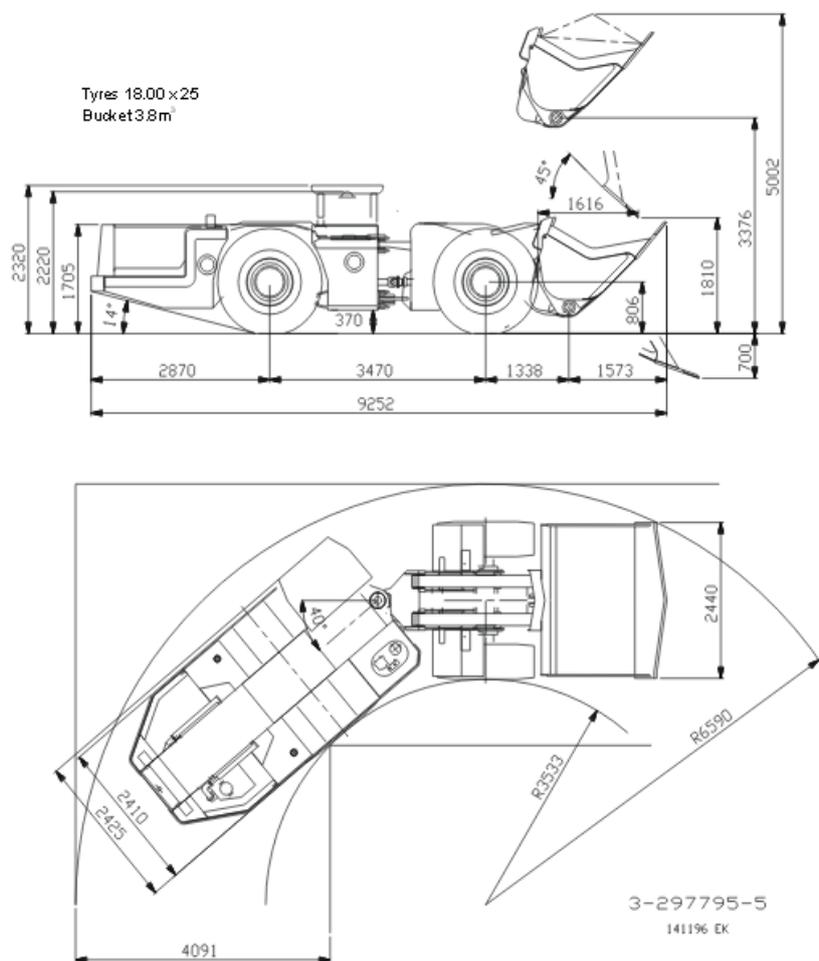
Fonte: Carbonífera Metropolitana disponível em:
<<http://www.carboniferametropolitana.com.br/mineracao/metodos>> consulta em 23 Abril2015

Por sua vez, os equipamentos de produção, como o próprio nome diz, são equipamentos usados no processo de lavra do material de interesse, em contato direto com o minério. Os equipamentos de produção podem trabalhar de forma simultânea em determinadas operações ou conjugados. A escolha dos equipamentos de produção é, principalmente, função de aspectos relacionados com a geometria e geologia da camada e mecânica das rochas encaixantes. Cada tipo de equipamento e condições operacionais vão determinar níveis de produtividade distintos e configurações de lavra diferentes. Os principais equipamentos de produção existentes são descritos abaixo.

Carregadeira frontal (LHD): montada sobre pneus, tem como objetivo o transporte do material desmontado. Movimenta-se entre a frente de produção e o britador primário, ponto de alimentação instalado em subsolo e móvel que acompanha o

desenvolvimento das frentes. Equipamento acionado por motor a diesel, fato que provoca emissões gasosas e aquecimento no ambiente. Dispensa o uso de *Loader* e *Shuttle Car* em função de sua mobilidade. A figura 5 apresenta um esquema com as dimensões de operação, resumindo as características físicas de um determinado equipamento que possui capacidades de carregamento de 3.8 m³ ou 9,6 toneladas, com motor de 250 CV.

Figura 4-Imagem ilustrativa da carregadeira frontal tipo LHD Toro 400, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção, serve para retirada do material desmontado da frente de lavra até o alimentador.





Fonte: Carbonífera Metropolitana disponível em:
<http://www.carboniferametropolitana.com.br/mineracao/metodos>> consulta em 23 Abril2015

Loader: equipamento montado sobre esteiras, utilizado para recolhimento do material da frente de serviço para descarga em um *ShuttleCar*, trata-se de um equipamento elétrico.

Figura 5 - Imagem ilustrativa do *Loader*, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção, serve para retirada do material desmontado da frente de lavra para carregamento em um *Shuttle Car*.



Fonte: Carbonífera Metropolitana disponível em:
<http://www.carboniferametropolitana.com.br/mineracao/metodos>> consulta em 23 Abril2015

ShuttleCar: caminhão de transporte que opera em conjunto com outro equipamento, podendo ser carregado pelo *Loader* ou pelo minerador contínuo, desloca-

se através das galerias e descarrega o material no alimentador. Trata-se de um equipamento elétrico com capacidade para transporte de até 11 toneladas, com um alcance de cabo de alimentação de até 150 metros no tambor.

Figura 6 - Imagem ilustrativa do *Shuttle Car*, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção, serve para retirada do material desmontado da frente de lavra onde o mesmo é carregado pelo *loader* ou pelo minerador contínuo, transportando o minério para descarga no alimentador.



Fonte: JOY GLOBAL disponível em: < <http://www.joyglobal.com/product-details/12cm12#!specifications> > consulta em 23 Abril2015

Minerador contínuo (MC): essa classe de equipamento realiza o desmonte mecânico de material na frente de serviço através de uma espécie de tambor rotativo equipado com bits de ligas de metal endurecido (Figura 8) e que atua em contato direto para desagregação do material *in situ* (carvão). O carregamento do material é realizado em um *Shuttle Car*, o qual transporta o material ao ponto de alimentação primária. Trata-se de um equipamento elétrico que desmonta mecanicamente o material, portanto dispensa o uso de explosivos, PF e do *Loader*.

O minerador contínuo Joy12CM12, com um sistema de cabeça de corte-cabeça sólida, possui 965 milímetros (38 pol.) de largura de transporte para aplicações de entrada de largura padrão de 4 m. Tem capacidade de produção de variando entre 100 a 300 t/h (dependendo da configuração de bits e características da camada de carvão).

Figura 7 - Imagem do Minerador contínuo 12CM12, equipamento do conjunto mecanizado utilizado na fase de produção



Fonte: Carbonífera Metropolitana disponível em: <http://www.carboniferametropolitana.com.br/mineracao/metodos> > consulta em 23 Abril 2015

Alimentador com Britador (*Feeder Breaker*): é o ponto de descarga dos equipamentos de produção que fica em um ponto central ao painel de lavra. O equipamento possui um britador para que rochas maiores não danifiquem a correia principal. Ele pode ter sua velocidade de alimentação regulada, mantendo a correia em seu valor máximo de carga (figura 8).

Figura 8 - Imagem ilustrativa do Alimentador/britador, serve como ponto de descarga primária do material desmontado das frentes de serviço.



Fonte: JOY GLOBAL disponível em: < <http://www.joyglobal.com/product-details/12cm12#!specifications> > consulta em 23 Abril 2015.

2.3. Ventilação

Conforme anteriormente citado por JOHNSON, 1992, a desvantagem dos equipamentos a diesel é que os mesmos necessitam de maior vazão de ar nas frentes de serviço e, por ser um equipamento de combustão interna, produz mais calor, o que traz desconforto térmico para as operações.

Conforme HIRSHI, 2012, nos Estados Unidos em 1978, foram introduzidos equipamentos a diesel em minas de carvão, conseqüentemente houve um aumento expressivo na capacidade produtiva, podendo ser mineradas áreas com inclinações elevadas de até 25%, além da maior flexibilidade dos equipamentos. Porém, quando houve a aprovação da regulamentação sobre os requisitos de filtragem por conta das emissões do diesel, os equipamentos a diesel saíram de circulação tão rápido quanto chegaram. Atualmente existem motores a diesel com certificação para atuação em mina subterrânea, e conseqüentemente o cálculo de vazão de ar é dependente do residual produzido por cada motor testado.

No Brasil ainda não existe regulamentação específica a respeito do controle de emissões de equipamentos a diesel, e nenhum controle por parte dos órgãos fiscalizadores na qualidade das emissões dos equipamentos a diesel em minas subterrâneas de carvão.

STINNETTE (2013) afirma que a determinação do fluxo de ar necessário para a mina subterrânea é difícil, todavia um passo essencial no processo de projeto da mina. O mesmo autor selecionou algumas regulamentações específicas sobre equipamentos a diesel de alguns países e que demonstra a razão de fluxo de ar necessária para um painel de lavra (tabela1).

Tabela 1 - Cálculo de necessidade de vazão de ar para alguns regulamentos para minas com equipamentos movidos a diesel.

Austrália	Mínimo 0,06 m ³ /s por KW
Canadá	Mínimo, variável conforme província de 0,045 a 0,092 m ³ /s por KW- mais comum 0,06 m ³ /s por KW
Chile	Mínimo 2,83 m ³ /min por efetivo cavalo vapor (0,063 m ³ /s por KW equivalente)
China	0,067 m ³ /s por KW

África do Sul	Mínimo 0,063 m ³ /s por KW (baseado nas melhores práticas)
USA	Baseado no certificado MSHA - ventilação necessária para diluir os contaminantes aos níveis aceitáveis

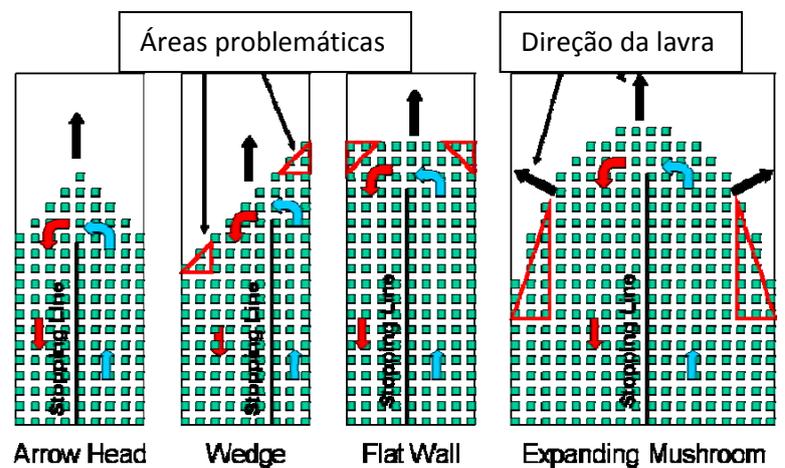
Fonte: Stinnette (2013)

Comparado com a necessidade mínima de vazão de ar no Brasil onde temos as Normas Regulamentadoras da Mineração (NRMs), a NRM-06 do Ministério de Minas e Energia e a Norma Regulamentadora 22 (NR-22) do Ministério do Trabalho. Segundo essas regulamentações, o cálculo da vazão de ar para máquinas a diesel é de 3,5 m³/min para cada cavalo vapor da máquina (ou 0,079 m³/s por KW equivalente), somente este valor já supera a necessidade de ar dos países citados, sem considerar que existem, ainda, demanda dos demais equipamentos envolvidos no processo de lavra. Isto faz com que a vazão necessária de ar no país seja maior que as dos demais países descritos, entre eles os principais produtores do mundo, importante ressaltar que o Brasil não leva em consideração as emissões de particulados diesel. Sendo assim, o aumento de equipamentos a diesel traz uma série de problemas decorrentes de ventilação e torna o processo produtivo mais oneroso ou, por vezes, até limitante. O estudo aprofundado das emissões de equipamentos a diesel, poderia trazer benefícios em diminuir a necessidade de fluxo de ar, isso pela qualidade do ar proveniente dos motores utilizados nos equipamentos, sendo que motores mais modernos teriam menos produção de particulados.

A mina em estudo tem características de não apresentar concentrações de metano (CH₄) nem gás sulfídrico (H₂S), o que leva a mina a um patamar de maior controle sobre os gases provenientes da própria operação de lavra, (equipamentos e desmonte com uso de explosivos). Quanto ao layout de ventilação do painel de lavra, pode ser tratado de diversas formas, mas sempre com o objetivo de manter a ventilação dentro das normas existentes na legislação.

Conforme KROG (2004), existem algumas formas de avanço de um painel de lavra, que podem ser utilizados para o método câmaras e pilares, que são : “arrow head” (ponta de seta), “wedge” (cunha), “flat wall” (parede plana) e “expanding mushroom” (expansão cogumelo). Conforme a figura 9.

Figura 9 - Métodos de avanço da lavra: “arrow head,” (ponta de seta), “wedge,” (cunha), “flat wall,” (parede plana) e “expanding mushroom” (expansão cogumelo), as setas em preto mostram a direção da lavra, e as áreas em vermelho demonstram as áreas problemáticas para ventilação. (métodos split- mine, perimeter e unit-ventilation)



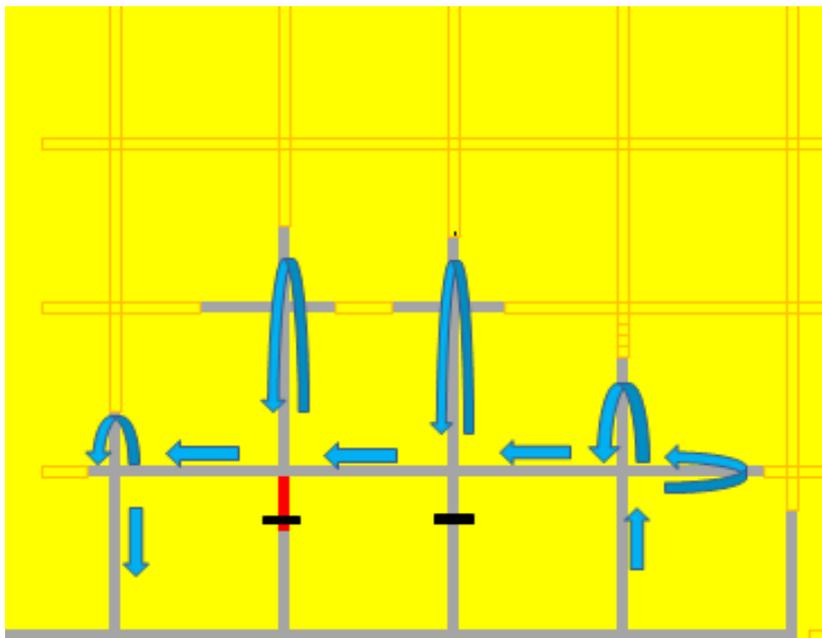
Fonte: Krog (2004)

Ainda conforme o mesmo autor as frentes em formato cabeça da seta e desenvolvimento de cunha são, geralmente, minerações de alta intensidade, onde todas as frentes de lavra são desenvolvidas ao mesmo tempo. A intenção da frente em formato de parede plana é manter todas as principais entradas na mesma profundidade. A expansão em cogumelo representa uma mina mais velha, com um abundante número de frentes que são mineradas com pouca frequência.

Todos estes layouts foram descritos pelo autor para minas não carvão, mas para o carvão é muito comum o uso do sistema de avanço de parede plana, isto devido a necessidade de manter a ventilação constante em todas as frentes de lavra, quando se trabalha com equipamentos elétricos que necessitam de cabos e logo restrição em seu deslocamento, e também para minas com emissão de metano.

As minas com avanço em cabeça de seta, são minerações mais intensas e com equipamentos que tenham maior liberdade de movimentação, como é o caso das LHDs. E para este tipo de avanço é necessária que a ventilação seja controlada constantemente. Para isto é utilizado elementos do tipo cortina e tapumes temporários para direcionar o fluxo de ar, mantendo a ventilação adequada nas frentes de lavra como podemos ver a figura 10 que identifica o fluxo de ar nas frentes de serviço.

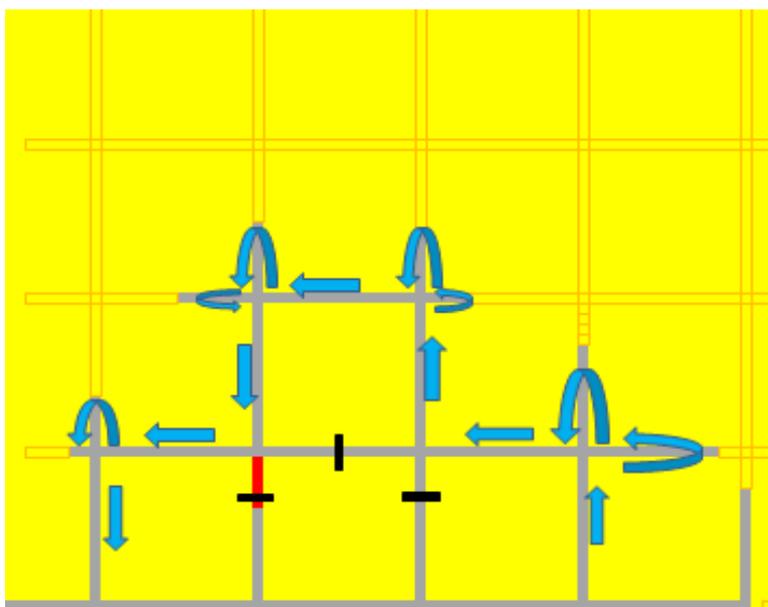
Figura 10 - ventilação em um painel de lavra. Em azul as setas demonstram o fluxo de ar nas frentes de serviço, em preto os tapumes que direcionam o fluxo de ar, em vermelho o local do alimentador.



Fonte: Autor 2015

Sempre que uma galeria é transposta conectando duas galerias distintas, é colocada uma cortina para direcionar o fluxo de ar para as frentes de serviço, evitando que haja uma recirculação conforme podemos ver a evolução de uma lavra na figura 11.

Figura 11- Ventilação em um painel de lavra. Em azul as setas demonstram o fluxo de ar nas frentes de serviço, em preto os tapumes que direcionam o fluxo de ar, em vermelho o local do alimentador.



Fonte: Autor 2015

Nas galerias sem comunicação é utilizado ventiladores posicionados para fora da galeria, no fluxo de ar principal, para garantir que não haja recirculação.

Nos Estados Unidos, as galerias por onde o carvão é transportado são separadas da admissão e saída de ar, assim, o ar contaminado, que não deve ser utilizado na área da frente de serviço, é então canalizada diretamente para a saída de ventilação, porque a introdução de ar deve ser neutra (TIEN, 2011).

2.4. Ciclo produtivo

Dentro de um sistema de mineração convencional, as etapas de produção são cíclicas, empregando equipamentos mecanizados móveis de mineração para realizar operações unitárias de produção. No ciclo produtivo convencional, depois que o carvão é desmontado e fragmentado, é feita a limpeza da frente de lavra e o material é carregado por um veículo de transporte (LHD, *Shuttlecar*). Este veículo movimenta o carvão a um alimentador que, por sua vez, despeja em transportadores de correia (iniciando pelo alimentador) para o transporte até a superfície. Em algumas minas de menor porte, o carvão é levado em reboques montados sobre pneus de borracha e puxados por tratores movidos a bateria (TIEN, 2011).

No aspecto sequência de operações, para o exemplo de uma mina que funciona da direita para a esquerda como a sequência da movimentação de determinada operação unitária (dependendo da prática local), depois que a primeira frente de trabalho é completada por uma etapa do ciclo produtivo, a equipe de uma determinada operação unitária se move para o local de trabalho adjacente à esquerda e repete os passos anteriores. Deste ponto inicial, o carvão extraído na frente de serviço é transportado e transferido para a correia (TIEN, 2011). Ainda segundo o mesmo autor, várias outras funções auxiliares devem acompanhar as atividades de produção e estão incluídas nos ciclos produtivos, tais como: a limpeza da frente de serviço, controle do teto, ventilação adequada na frente de serviço, cabos e equipamentos, avanços e movimentos de materiais e suprimentos. Como resultado, é necessário que haja acesso à várias frentes de serviço, de tal modo, que todas as funções podem ser executadas de forma concomitante em frentes de lavra distintas, sem atrasos por aguardo por truncamento de operações.

Devido ao aumento das preocupações com segurança, a procura pela eficiência nas operações e da necessidade de operar vários equipamentos de mineração, simultaneamente, fizeram com que o método de mineração convencional com uso de

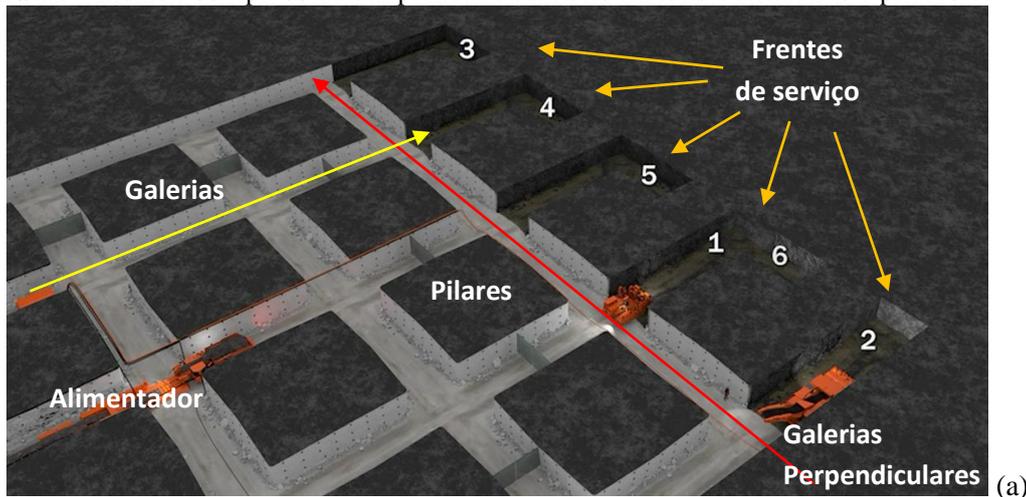
explosivos e LHDs viessem a cair em desuso nos Estados Unidos, sendo progressivamente substituído pelo método de mineração contínuo. Em 2008, nos Estados Unidos, apenas 0,6% de todo o carvão subterrâneo foi extraído utilizando este método (TIEN, 2011). Cabe ressaltar que o método de mineração contínuo depende de alguns fatores relevantes para sua viabilidade, onde aspectos relacionados com a geologia local tais como estabilidade de teto imediato e competência do material a ser desmontado podem ser limitantes. Apesar de pequena movimentação entre ciclos de corte, este método também tem a distância de transporte como um elemento restritivo do ciclo produtivo em função do comprimento do cabo de alimentação de energia.

Conforme YINGLING (1992), a eficiência da operação e as produtividades globais e taxas de avanço por turno, dependem do tempo necessário para cada um dos elementos no ciclo produtivo. Assim, a forma como eles interagem e a velocidade com que o equipamento pode ser movido a partir de uma entrada de uma galeria até a próxima, determinam a dinâmica e a combinação dos diferentes equipamentos dentro desse ciclo. O autor comenta, também, que a variável gestão é um elemento que dificulta a predição da capacidade produtiva.

2.5. Avançamento do alimentador

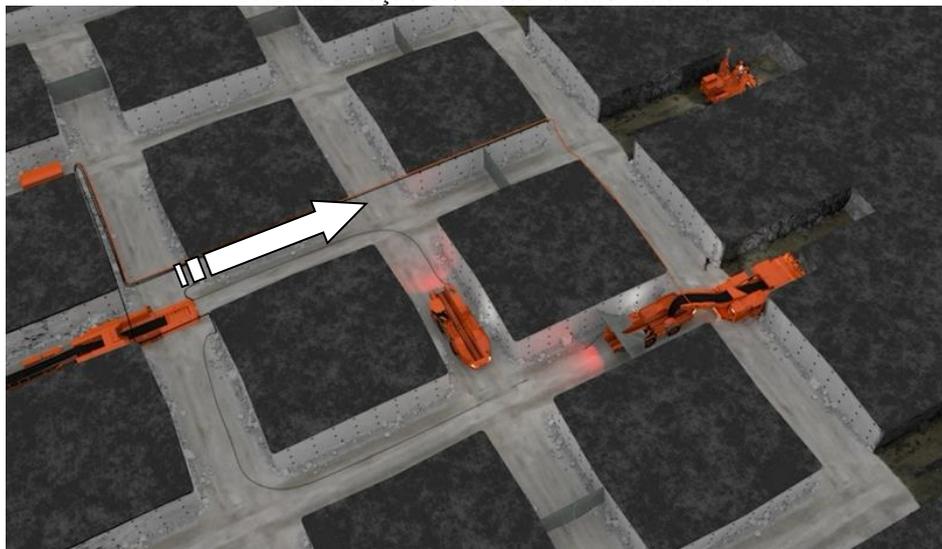
À medida que as galerias perpendiculares ao avanço da lavra, também chamados travessas, ilustrados na figura 12 são trespassados, tem-se uma etapa onde se deve aproximar o alimentador das frentes de serviço. Esta etapa é feita de forma intuitiva e conforme verificada as condições de contorno que viabilizem a movimentação de aproximação do equipamento às frentes de serviço. O alimentador, neste modelo de produção, mantém-se na galeria do centro do painel, de acordo com as figuras 12 e 13: o Bloco - a unidade de extração de uma frente de serviço; Pilar - elemento estrutural da camada de carvão mantido para sustentação; Galeria Perpendicular ou travessa - abertura subterrânea perpendicular ao avanço da lavra e é a conexão de diversas galerias; Galeria ou Câmara - abertura subterrânea .

Figura 12 - Elementos típicos de um painel de lavra no método de câmaras e pilares



Fonte: figura a - JOY GLOBAL disponível em: <<http://www.joyglobal.com/product-details/12cm12#!specifications>> consulta em 23 Abril2015

Figura 13 - Ilustração do avanço do alimentador e da correia transportadora indicado pela flecha a direção e sentido do movimento.



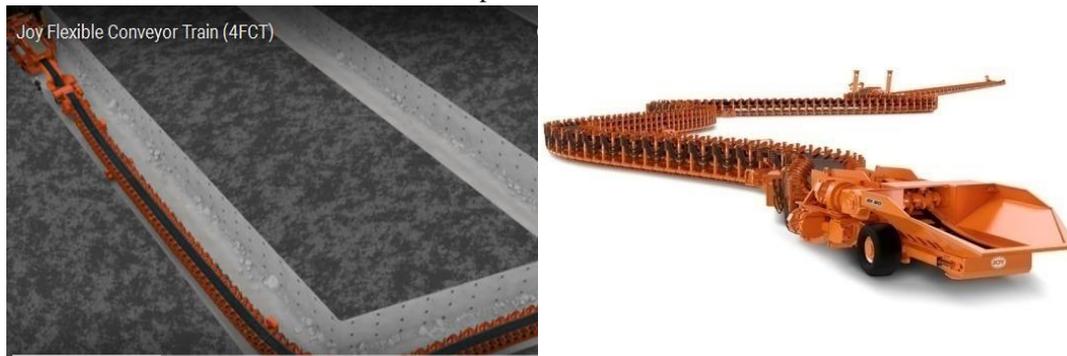
Fonte: JOY GLOBAL disponível em: <<http://www.joyglobal.com/product-details/12cm12#!specifications>> consulta em 23 Abril2015

Existem outras formas de dispor a alimentação primária, um exemplo interessante é a alimentação primária diretamente na correia transportadora sem uso de alimentador/britador primário. Este método consiste em colocar uma correia perpendicular ao avanço de lavra, na última galeria perpendicular executada (ou travessa). Porém este método exige o uso de equipamentos de produção de pequeno porte chamados MTs (micro tratores com capacidade de transporte média de uma tonelada), que passem entre a correia e os pilares durante o ciclo produtivo. Interessante deste método é que a disposição da correia transportadora desta forma, faz com que todas as frentes de serviço se mantenham com a mínima, e igual, distância de transporte,

agilizando o ciclo produtivo. Porém o método citado não se aplica a minas profundas, onde a distância de transporte torna-se elevada em função da largura e comprimento dos pilares de sustentação. Os aspectos listados anteriormente e as formas de configuração e disposição dos equipamentos nas frentes de operação segue em consonância com TIEN (2011). O autor afirma que, dependendo da taxa de avanço das frentes de lavra e a distância de transporte entre as frentes de serviço e o alimentador, deve se buscar dispor o ponto de alimentação primária em um local que diminua o impacto da DMT e também, que evite congestionamentos entre os equipamentos de produção. Ainda, seguindo este raciocínio, YINGLING (1992) acredita que um problema importante a ser analisado é o efeito da sequência de corte das frentes de serviço. A distância variável entre o corte e o alimentador pode ter uma influência sobre o efeito pronunciado de alterar as velocidades de alimentação, variando a capacidade produtiva. Isto significa, que conforme for executado o sequenciamento de lavra, a produtividade pode ser maior ou menor, em função desta distância de transporte e número de equipamentos envolvidos.

Com base nos argumentos de TIEN (2011), a maior produtividade ocorreria quando o alimentador/correia estivesse muito próximo do processo produtivo elevando o tempo mínimo de transporte. Como exemplo da maior produtividade possível em mineração de carvão pelo método câmaras e pilares, pode-se citar o sistema de minerador contínuo descarregando diretamente em um sistema de correias flexíveis. Esse sistema evita os tempos ociosos do minerador contínuo por questões de transporte, uma vez que o material lavrado é imediatamente alimentado no sistema de correia flexível conforme ilustrado na figura 14.

Figura 14 - Minerador Contínuo acoplado a uma correia transportadora flexível, sistema de transporte contínuo.



Fonte: JOY® (<<http://player.mashpedia.com/player.php?q=zwqIJ42ECpY>>) Consulta Site dia 21/09/2014

O quadro 1 traz uma demonstração de uma simulação envolvendo o minerador contínuo e sistemas de transporte (AMBROSE, 1994).

Quadro 1- Diferentes cenários analisados para a produção envolvendo minerador contínuo e tipos de transporte diferentes.

Cenários e tipos de transportes	Produtividade st/unidade	Tempo movimento da correia principal (h)	Tempo com movimento da correia principal (h)
continuous	1171.3	15.06	19.06
Shuttle cars	723.5	24.38	24.38
Continuous com parafusador de teto	947.4	18.62	22.62

¹ Todos os cenários utilizaram um minerador contínuo e duas perfuratrizes de teto.
² Turno de produção, produtividade não inclui movimentação de correia principal.
³ Tempo total decorrido para completar o cenário da mineração.

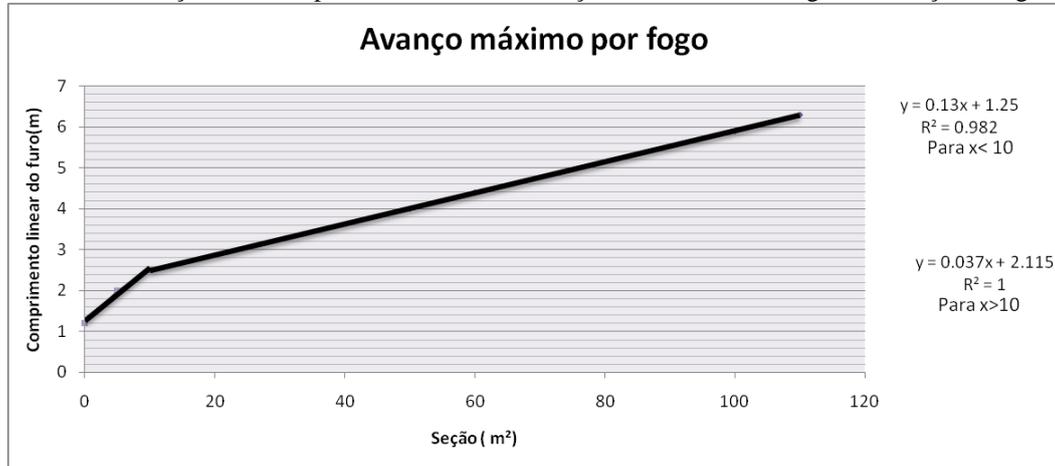
Fonte: Ambrose (1994).

Porém este método contínuo de transporte não é adaptável a todos os tipos de minas de carvão subterrâneas, determinadas condições operacionais, tais como baixa qualidade de teto, impõem algumas restrições produtivas quanto ao uso do minerador contínuo, o que leva a tentar priorizar produção com uso de carregadeiras frontais e métodos de desmonte convencionais com uso de explosivos.

Assim, verifica-se que a distância de transporte da frente de serviço até o ponto de descarga é um fator fundamental para a viabilidade da produção e, conseqüentemente, reflete no retorno financeiro do empreendimento mineiro. Sendo assim, segue a linha de raciocínio de O'HARA e STANLEY (1992) onde os custos da produção são inversamente proporcionais à distância de transporte. Então, pode-se assumir que em um sistema convencional, como avaliado neste estudo de caso, as frentes de serviço mais próximas do alimentador devem ser lavradas antes das demais. Conforme definido anteriormente, essa unidade de avanço linear é chamada de bloco, e é aqui definida como uma atividade progresso da lavra em uma mesma galeria que recebe todas as etapas do ciclo produtivo. As dimensões são definidas pela largura da

galeria, altura da camada, sendo o avanço efetivo dependente da eficiência do desmonte de rochas conforme proposto por HERRMAN (1972), mostrado na figura 15. Como exemplo, para uma galeria do painel em estudo com área da seção de 21m² temos um avanço médio previsto de 2,8m.

Figura 15 - Avanço máximo por desmonte, em função da área e da largura da seção da galeria



Fonte: Autor, adaptado de HERRMAN (1972)

2.6. Equipamentos e seus métodos de análise

A produtividade de um equipamento é medida através de fatores, tais como sua capacidade nominal e tempo de ciclo, os quais, associado com fatores de disponibilidade e utilização, tem-se como resultado o desempenho e a qualidade. A figura 16 evidencia isso. A eficiência global dos equipamentos é utilizada na metodologia TPM (*Total Productive Maintenance*), onde é proposto um indicador conhecido na literatura internacional como OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) (SANTOS , 2007).

Figura 16 - Elementos que influenciam na eficiência de um equipamento e resultado produtivo pela metodologia OEE.



Fonte: Santos (2007).

Pode-se, então, verificar que as perdas de produção provenientes de uma máquina podem ter origem em diversos fatores, e que somados, nos dão a eficiência global, assim, multiplicada pela sua capacidade produtiva resulta na produção do período conforme equação 2. Portanto:

$$P = C.T.OEE \quad (2)$$

Onde:

- P= produção total (t);
- C= capacidade produtiva (t/h);
- T= tempo total de produção (h);
- OEE= %.

Dentre os fatores que atingem a produção, a performance ou também chamada utilização, é afetada diretamente por paradas não programadas e essas são provenientes de esperas de um trabalho anterior pré-existente no ciclo produtivo. Este é um dos fatores que mais acometem a questão de sequenciamento de lavra, visto que máquina parada significa perda de produção. Para que não haja este tipo de situação, deve-se buscar o incremento do número de frentes de serviço (TIEN, 2011), o que contribui positivamente para a produtividade final. Assim, quanto mais frentes de serviço, maior a utilização e, conseqüentemente, maior a produção.

2.7. Sequenciamento de lavra

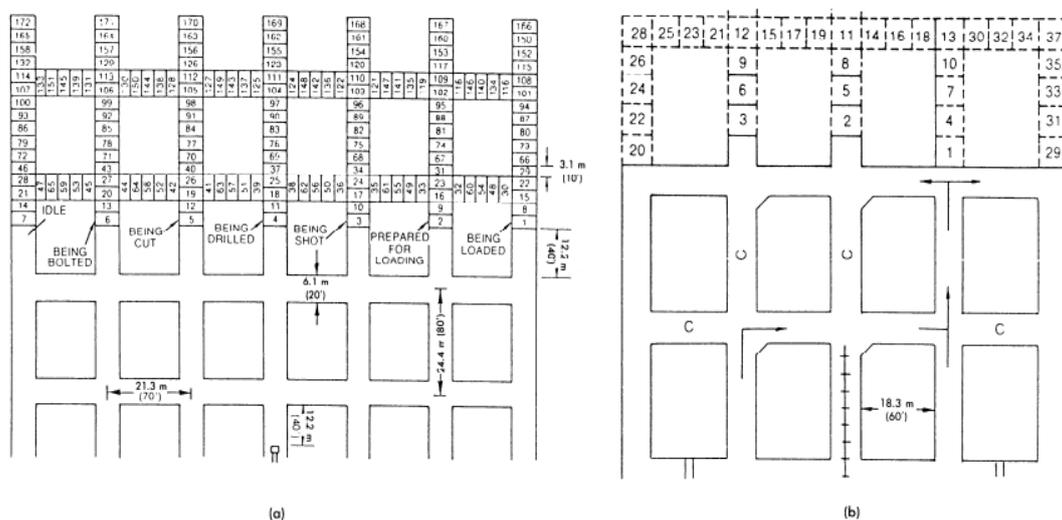
O sequenciamento de lavra é de suma importância para o bom andamento dos trabalhos mineiros, onde existe uma série de atividades necessárias e subordinadas que devem ser cumpridas, entre elas a ventilação, drenagem, abastecimento, etc., e a falta de qualquer elemento citado pode limitar a produção de um conjunto de máquinas. Um bom sequenciamento de lavra permite um bom fluxo da produção, acompanhado de uma garantia nos padrões ambientais necessários para a segurança do empreendimento. CHATTERJEE (1986) relata, em seu artigo de sequenciamento ótimo para câmaras e pilares, que o planejamento de lavra de uma mina subterrânea de carvão requer uma mistura de complexas experiências técnicas. Entretanto, existe pouco material sobre estratégias para sequenciamento de lavra em mina de carvão subterrânea no método de lavra C&P e que envolva avanço da correia como um parâmetro. Pouco é citado a respeito da distância de transporte entre as frentes de lavra e a correia transportadora

principal. O que é mais enfatizado é sobre o tempo de ciclo dos equipamentos e suas sequências subordinadas de atividades, então, obviamente, este valor está incluso no tempo de ciclo dos equipamentos de transporte, porém atualmente não é considerado como variável.

BECKETT (1976), em sua simulação, afirma que existe uma relação de produção com a distância de transporte no uso de LHDs. Este autor encontrou uma relação direta linear e inversamente proporcional entre a DMT e a produção de uma LHD em um painel de lavra. Este estudo relativo à capacidade produtiva do uso da LHDs já foi realizado anteriormente também por RAO (1973, 1975), onde ele investigou o transporte por LHD no sistema câmaras e pilares. Se considerar que o tempo de ciclo dos equipamentos são iguais, tem-se, então, o aparecimento do fator deslocamento entre frentes de serviço e distância de transporte. Conforme FARMER (1992), as distâncias de transporte devem ser minimizadas, assim como os tempos improdutivos.

Estes elementos são mais visíveis em minas mais profundas onde os pilares são maiores por conta da cobertura e, conseqüentemente, a distância entre as frentes também sendo um gargalo produtivo. Na figura 15, FARMER (1992) demonstra um sequenciamento para minerador contínuo e um conjunto mecanizado. No sequenciamento envolvendo o minerador contínuo, os blocos mais próximos são minerados primeiramente, os demais são minerados na sequência, isso porque a distância maior é mais produtiva com uso de dois *Shuttle cars*.

Figura 17 - (a) Sequenciamento de lavra para conjunto mecanizado, e (b) para minerador contínuo.



Fonte: Farmer (1992)

Baseando nos estudos anteriores, comparativamente ao estudo de caso, buscamos um sequenciamento que usa a distância de transporte como parâmetro para calcular as prioridades e subordinações dos elementos de lavra. Não é possível uma comparação com o sequenciamento proposto por FARMER (1992), por serem processos produtivos diferentes do proposto neste estudo e a geometria dos painéis de lavra do estudo de caso com pilares em torno de 40 metros em comparação ao demonstrado por FARMER que são de 18 metros de lado, logo a distância é muito mais influenciada no estudo de caso do que na geometria apresentada pelo supracitado autor. É claro que com o resultado da proposta deste estudo é possível estender as demais configurações de máquinas e testar sua efetividade.

2.8. Valoração do Bloco

Conforme citado no item 2.4, bloco é um elemento de avanço de lavra que passa por todas as etapas produtivas. Na mineração de carvão mineral, via de regra, por se tratarem de depósitos de grande continuidade e pouca variabilidade espacial dos parâmetros qualitativos, um painel muda pouco sua relação econômica. Exceções para os locais onde existem acidentes geológicos (diques, falhas, etc.), ocorrem mudanças abruptas no valor dos blocos em virtude de condições operacionais adversas e da forma que estas estruturas afetam a qualidade da camada de carvão.

Assim, o tamanho de bloco tem que respeitar a geologia com altura que acompanha a espessura da camada e largura de galeria definida pelas características operacionais, no caso 6 metros. Complementando pelos dados de densidade na tabela 2, dados de espessura da tabela 3 e com o realce de 0,9m. Deste modo, um bloco teria as dimensões de 6 metros de largura, 2,80 m de avanço (conforme proposto HERRMAN, 1972), por 3,5 m de altura (com realce). Um bloco tem, portanto, um volume de 58,8 m³, considerando a densidade média apresentada na tabela 2, cada bloco possui aproximadamente 118 toneladas de carvão ROM (*Run of Mine*).

Tabela 2 - Sumário dos dados de densidade para a camada de carvão Bonito.

Número de dados	294
Média (t/m ³)	2,01
Desvio padrão	0,12
Coef. de variação	0,06
Máximo (t/m ³)	2,31
Mínimo (t/m ³)	1,60

Fonte:Costa(2010)

Sumário dos dados estatísticos para espessura de carvão:

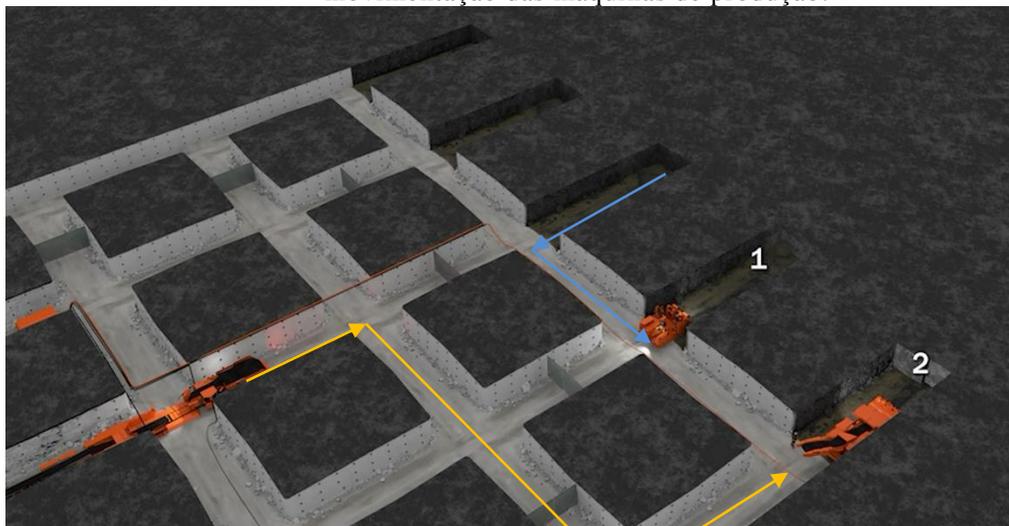
Número de dados	419
Média (m)	2,59
Desvio padrão	0,99
Coef. de variação	0,38
Máximo(m)	4,90
Mínimo(m)	0,30

Fonte: Costa (2010)

Para fins de contextualização teórica do estudo de caso deste trabalho, foi assumido um valor econômico constante para cada bloco lavrado. Considerando que os valores que mudam são operacionais, já que se busca o sequenciamento de curto prazo com objetivo da valoração da produção, então, cada bloco receberá um valor referente à distância de transporte até a alimentação primária, sendo que o bloco mais próximo terá um peso maior em relação aos demais.

Convencionou-se a movimentação da direita para a esquerda, afim de que as máquinas de preparação se movimentem menos no painel de lava. Desta forma, para as máquinas de produção a movimentação é da frente de serviço até o alimentador enquanto as máquinas de preparação são entre frentes de serviço, conforme ilustrado na figura 18.

Figura 18 - Sequenciamento conforme mínima distância de movimentação entre blocos. As setas em azul são a movimentação das máquinas de preparação e as em laranja a movimentação das máquinas de produção.



Fonte: JOY® (<<http://player.mashpedia.com/player.php?q=zwql142ECpY>>) Consulta Site dia 21/09/2014

Capítulo 3

METODOLOGIA

3.1. Localização

Metade das minas subterrâneas do Brasil está concentrada na produção de carvão nos estados de Santa Catarina (12) e Paraná (1) e nessas o método dominante é o de câmaras e pilares. No estado de Santa Catarina (SC) todas as minas subterrâneas em operação utilizam esse método de lavra. As profundidades das minas variam de 40 a 200 metros, todavia algumas empresas estão estudando a possibilidade de desenvolver a lavra em profundidades maiores (300 metros). Para evitar subsidência, o DNPM restringiu a recuperação de pilares (KOPPE, 2008), portanto impedindo o uso de outros métodos de lavra, ficando restrito ao uso do C&P.

A mina Fontanella, onde a metodologia foi aplicada, pertence à empresa Carbonífera Metropolitana S.A. e está localizada no município de Treviso no estado de Santa Catarina, distante 30 Km de Criciúma (figura 19). A jazida de carvão é caracterizada por duas camadas tabulares sub-horizontais, sendo a primeira e menos profunda chamada de camada Barro Branco. A extração na camada superior já foi concluída, tendo sido minerada na mina Esperança, localizada 70m acima da camada Bonito que, atualmente, está em produção na mina Fontanella.

Figura 19 - Localização da mina em estudo no Brasil e no estado de Santa Catarina.



Fonte: Wiktionary, disponíveis em:

[https://pt.wiktionary.org/wiki/Ap%C3%AAndice:Munic%C3%ADpios_do_estado_de_Santa_Catarina] Consulta em 10 de setembro 2015.

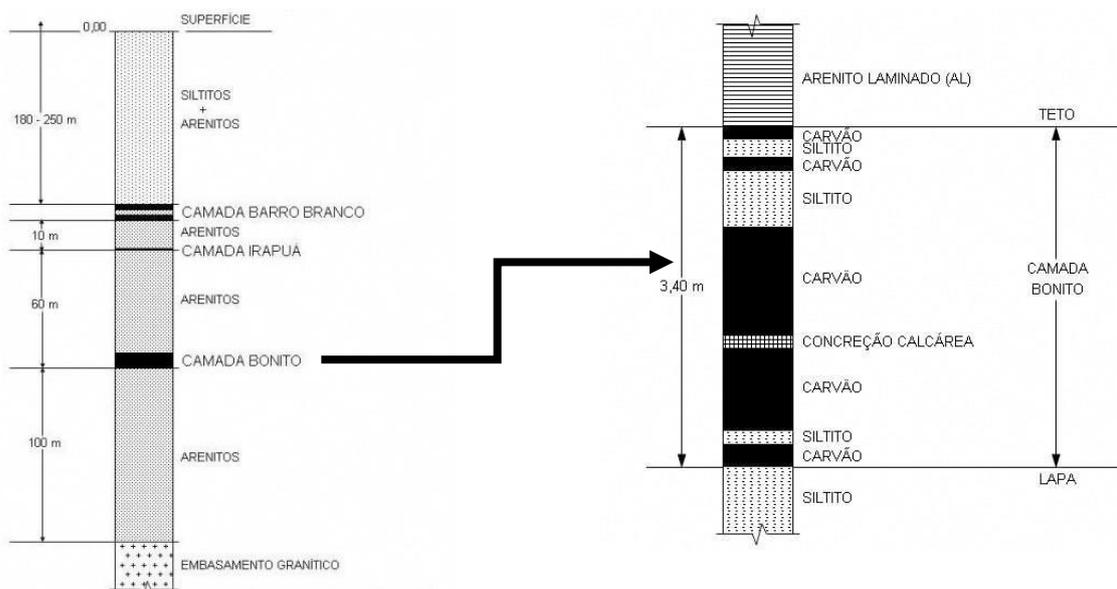
A empresa possui diversos equipamentos de lavra dispostos em diferentes frentes de lavra (painéis). A escolha dos tipos de equipamentos que vão minerar cada área depende de diversos fatores como qualidade do teto imediato,

qualidade da lapa, distância de transporte e tamanho dos pilares, quantidade de ar necessária (ventilação) e inclinação da camada.

3.2. Geologia

Para WHITE (1908), as camadas exploradas de carvão acham-se associadas às litologias da Formação Rio Bonito, do Grupo Guatá, de idade Permiana. Estas camadas recebem diferentes denominações regionais em cada jazida, tais como: Camada Candiota; S2 e I na Mina do Leão; CL4 na jazida Chico Lomã, no Rio Grande do Sul. Em Santa Catarina são conhecidas a Camada Barro Branco, Camada Bonito (Figura 18) e Camada Irapuá, enquanto no Paraná ocorre a Figueira/Sapopema. A maioria do carvão Rio-Grandense é do tipo betuminoso alto volátil C, enquanto o carvão catarinense é do tipo betuminoso alto volátil A, considerado de melhor qualidade.

Figura20–Sequência estratigráfica simplificada das camadas de carvão, enfatizando a camada Bonito.

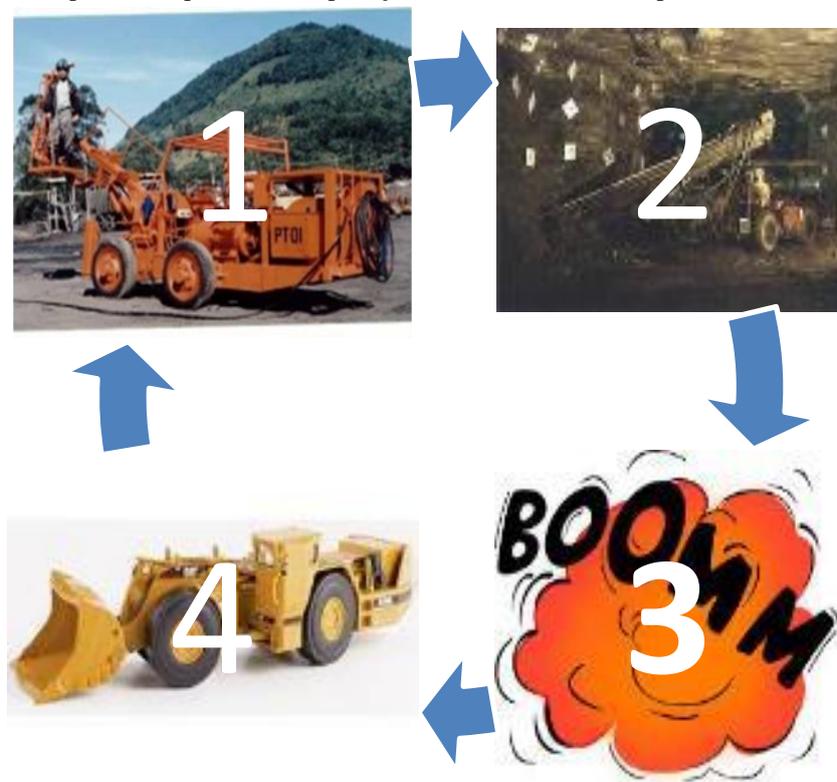


Fonte: Carbonífera metropolitana, disponível em:
[\[http://carboniferametropolitana.com.br/mineracao/reservas/\]](http://carboniferametropolitana.com.br/mineracao/reservas/)
 Consulta site dia 10 de setembro 2015.

3.3. Lavra do carvão

A lavra de carvão ocorre em um ciclo produtivo que depende dos equipamentos alocados em um painel de lavra, particularmente, nesse estudo de caso, o ciclo produtivo é composto por duas carregadeiras frontais (LHD), conforme apresentado na figura 4 , duas perfuratrizes de teto (PT – figura 3), uma perfuratriz de frente (PF - figura 2) e um alimentador (AL- figura 8). O ciclo produtivo ocorre com a sequência de operações ilustradas na figura 21, sendo a etapa 1 o atirantamento de teto, a etapa 2 a perfuração da face, etapa 3 o desmonte de rocha com uso de explosivos (1 a 3 - etapas de preparação) e 4 carregamento e transporte de material (etapa de produção).

Figura 21 - Exemplo de sequência de operações unitárias no ciclo produtivo



Fonte: Autor, 2015.

Os tempos de ciclo dos equipamentos dependem das condições operacionais e variam conforme o terreno a cada ponto de mudança, de galeria para galeria. Determinados casos, possuem um painel de lavra composto por 8 a 14 frentes de serviço e apresentam distintas características operacionais para cada frente. Por ser um ciclo operacional, os equipamentos devem ser dispostos nas diferentes frentes de trabalho com tempos de ciclo muito parecidos, se não iguais. Como alternativa, pode-se ter mais de um equipamento que compense as diferenças de tempo de operação entre equipamentos que executem a mesma atividade

Com relação a mão de obra, o painel de produção envolve um total de 12 colaboradores dispostos nas funções:

- 1 supervisor;
- 2 detonadores (encarregados de manusear explosivos);
- 2 operadores de PT;
- 2 ajudantes de PT;
- 1 operador de PF;
- 2 operadores de LHD;
- 1 eletricista;
- 1 mecânico;

Com o avanço da lavra, a distância do acesso principal aos painéis de produção aumenta progressivamente e, com isso, a disponibilidade operacional dos funcionários diminui, mesmo com a sobreposição de horários. Considerando uma jornada de trabalho de 7,12 horas, o tempo útil máximo de trabalho na frente de serviço é de aproximadamente 4,37 horas. Conforme a mina é desenvolvida, com o passar do tempo e o incremento na distância das frentes de serviço, tem-se a possibilidade da inviabilização do processo produtivo ou a necessidade de projetar um novo acesso. Com este tempo disponível, do estudo de caso, só é possível trabalhar em no máximo 4 a 6 frentes de lavra, as quais poderão passar por todos os processos do ciclo produtivo.

O conjunto objeto do estudo opera em três turnos de produção de 7,12 h totais, sendo que 2 h são consumidas em deslocamento (ida e volta) até o painel de lavra, 0,5h de intervalo, 0,25 h para inspeção dos equipamentos, ficando, assim, aproximadamente 4,37 h efetivas para produção (incluindo sobreposição de horários).

3.4. Metodologia de análise e tratamento dos dados

Os dados de produção foram adquiridos pela equipe de topografia. Para isso, foram utilizadas trenas a laser com erro aproximado de 1,5mm. A equipe executa a medida a partir do centro dos cruzamentos de uma galeria até sua frente de serviço, assim como realizam uma média das alturas das galerias. Também são realizadas medidas por uso de estação total, e ao final do mês, comparam-se com os dados obtidos pelo apontamento dos operadores de máquinas em seus respectivos boletins de produção, finalizando assim o volume total de produção do período.

As datas do avanço da correia foram marcadas, e ocorrem sempre durante o turno de preparação, não havendo paradas produtivas, portanto, estas datas marcadas são o início e o final de um ciclo de avanço do alimentador, que representa a aproximação do alimentador às frentes de serviço, e que serão analisados individualmente. Esta forma de análise responde a questão do comportamento da produção (dados obtidos pela equipe de topografia) em relação a estes ciclos de avanço do alimentador e verifica-se graficamente a tendência dos dados, e se os mesmos possuem alguma correlação e conseqüente comportamento reprodutível.

Porém, antes de analisar os dados, é preciso tratá-los no intuito de evitar valores extremos, normalmente elevados, e que não são relevantes para a solução da meta proposta pelo estudo, considerando que a média é sensível a estes valores (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Foram, portanto excluídos todos os dados maiores e menores que duas vezes o desvio padrão ($\pm 2\sigma$). Assim, espera-se que aproximadamente 95% dos valores da amostra se encontre no intervalo de $\pm 2\sigma$ de seus respectivos valores projetados pela regressão (LAPPONI, 2005).

Com os dados referentes às quebras de produção excluídos, ainda, tem-se a influência do número de frentes de serviço disponíveis, a qual está inclusa em uma discussão individualizada na seção 3.5, e que, da mesma forma, podem afetar os valores dos tempos de produção.

O fator quebra de máquinas e problemas de parada de produção, produz grandes oscilações entre os dias de produção, conforme indicado na figura 22. Estas oscilações descaracterizam o uso destes dados em um ciclo de avanço de correia, pois há influência direta no resultado, aumentado seu coeficiente de variação, portanto, foram excluídos conforme discussão da seção 3.6.

Figura 22-Gráfico demonstrando a produção de carvão no tempo e a variação da produção em função de quebras operacionais e conseqüente aumento do coeficiente de variação.



Fonte: Autor, 2015

3.5. Influência do número de frentes na capacidade de produção

O número de frentes de serviço disponíveis aumenta a capacidade produtiva de um painel de lavra por aumentar a utilização dos equipamentos, diminuindo seu tempo ocioso, isto ocorre pela diminuição do tempo de espera entre uma etapa anterior ainda não concluída no ciclo produtivo. Havendo diversas frentes de trabalho, acaba-se diminuindo a dependência entre etapas subordinadas.

Esta observação já foi realizada anteriormente por PEREIRA (2010), onde o autor constata a situação, porém sem apresentar dados quantitativos, definindo a existência de influência direta do número de frentes de trabalho na taxa de produção. Para comprovar este fato, baseando-se na idéia de PEREIRA, 2010, foi realizado o acompanhamento da variação dos números de frentes de serviço por dia de produção, e através de uma correlação entre o número de frentes e a produção média, buscou-se identificar o padrão de comportamento dos dados. Com a finalidade de isolar este fator, que pode enviesar os valores finais, buscou-se representá-lo graficamente em conjunto com os valores de produção e, com isso, garantir que a influência deste elemento seja minimizada pela visualização direta.

3.6. Regressão polinomial

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) dizem que o uso da regressão tenta reproduzir os eventos existentes entre populações, correlacionando fatores dependentes. Ainda, conforme os mesmos autores, a regressão é a forma mais simples de reproduzir uma variável por uso de outra, através de uma relação conhecida entre duas variáveis. Através da regressão assume-se que a dependência de uma variável sobre a outra pode ser descrita por uma equação reprodutível. Para isto, foi utilizado o Excel[®], que tem funções de linha de tendência que reproduzem o fenômeno. Posteriormente à regressão, verificou-se o valor do coeficiente de determinação ou R^2 , o qual o Excel[®] calcula juntamente com a equação da curva de ajuste aos dados, que serve para determinar a confiabilidade da tendência e a precisão de uma dada curva de regressão. Para fins de maior confiabilidade dos dados, foram aceitos somente os dados com $R^2 > 0,40$, ou seja, que 40% ou mais dos dados são reproduzidos pela linha de tendência.

Utilizou-se o método descrito por DRAPER (1998), onde coeficiente de determinação é a proporção da variação total em relação à média explicada pela regressão, uma razão entre a variância dos dados e do modelo.

Soma Total dos Quadrados dada pela equação 3:

$$SQ_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

Onde n é o número de observações, onde y_i é o valor observado e \bar{y} é a média das observações, a equação 3 portanto, temos a soma dos quadrados das diferenças entre a média e cada valor observado.

$$SQ_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (4)$$

Onde \hat{y}_i é o valor estimado (previsão) de y_i .

Na equação 4, temos a diferença entre a média das observações e o valor estimado para cada observação, e soma os respectivos quadrados. Quanto menor for a diferença, maior poder explicativo do modelo.

$$SQ_{\text{res}} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$

Esta equação 5 apresenta a Soma dos Quadrados dos Resíduos, que calcula a parte que não é explicada pelo modelo.

Portanto:

$$SQ_{\text{tot}} = SQ_{\text{exp}} + SQ_{\text{res}} \quad (6)$$

E normalizando a equação 6, temos o que chamamos de coeficiente de determinação na equação 7:

$$R^2 = \frac{SQ_{\text{exp}}}{SQ_{\text{tot}}} = 1 - \frac{SQ_{\text{res}}}{SQ_{\text{tot}}} \quad (7)$$

DRAPER (1998), descreve que existe algumas críticas para o uso de R^2 como coeficiente de qualidade para o ajuste de funções e problemas associados ao uso do mesmo, em especial, cita-se duas:

- o R^2 é afetado por valores extremos (por esse motivo os valores extremos identificados como ocorrências espúrias, foram excluídos antes do seu uso);

- o R^2 , muito embora o coeficiente de determinação seja relativamente fácil de interpretar, não pode ser testado estatisticamente.

Como o R^2 não pode ser testado estatisticamente, utiliza-se outras ferramentas para validar as regressões, que são o coeficiente de variação e o coeficiente de correlação de Pearson – Spearman.

Segundo ISAAKSe SRIVASTAVA (1989), a correlação existe em três padrões, conforme se verificou em um gráfico de dispersão: as variáveis podem estar correlacionadas de forma positiva, negativa ou não correlacionadas. Duas variáveis são positivamente correlacionadas se os maiores valores de uma variável tendem a ser associados com maiores valores da outra variável e de modo semelhante com os menores valores de cada variável. Duas variáveis são negativamente correlacionadas se os maiores valores de uma variável tendem a ser associados com os menores valores do outro. A última possibilidade é que as duas variáveis não estão relacionadas. Um aumento na variável não tem nenhum efeito aparente sobre a outra.

O coeficiente de variação (CV) caracteriza-se como a medida de assimetria da distribuição, significa que é uma indicação se uma distribuição é mais bem descrita como normal ou lognormal (SINCLAIR, 2004). Na prática, o coeficiente de variação (CV) é vulgarmente utilizado para esta finalidade:

$$CV = \frac{s}{m} \quad (8)$$

Onde:

- s= desvio padrão
- m= média

Valores do CV obtidos pela equação 8, inferior a 0,5 são susceptíveis de se aproximar de uma distribuição normal, enquanto que valores acima de 0,5 são enviesados e podem ser melhores descritos por uma distribuição lognormal ou uma combinação de distribuições (ALASTAIR, 2004).

Coefficiente de correlação de Pearson é um indicador que descreve a dependência linear entre duas variáveis, variando de 1 (coeficiente de correlação total e positiva), 0 (coeficiente de correlação linear inexistente, não significa que não haja correlação, pois podem ser variáveis, que não são linearmente dependentes) e -1 (coeficiente de correlação negativo ou uma variável é dependente ao inverso da outra) (CHEN, 2002). Conforme o mesmo autor, correlação de Spearman é um caso especial

da Correlação de Pearson, e é representado por um índice que compara dois *ranks* diferentes criando uma correlação entre os *ranks* das variáveis x e y e não com os valores originais. Esta é uma medida mais apropriada para correlação entre variáveis não lineares.

Então conforme equação 9:

$$r_{\text{rank}} = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - n} \quad (9)$$

Onde:

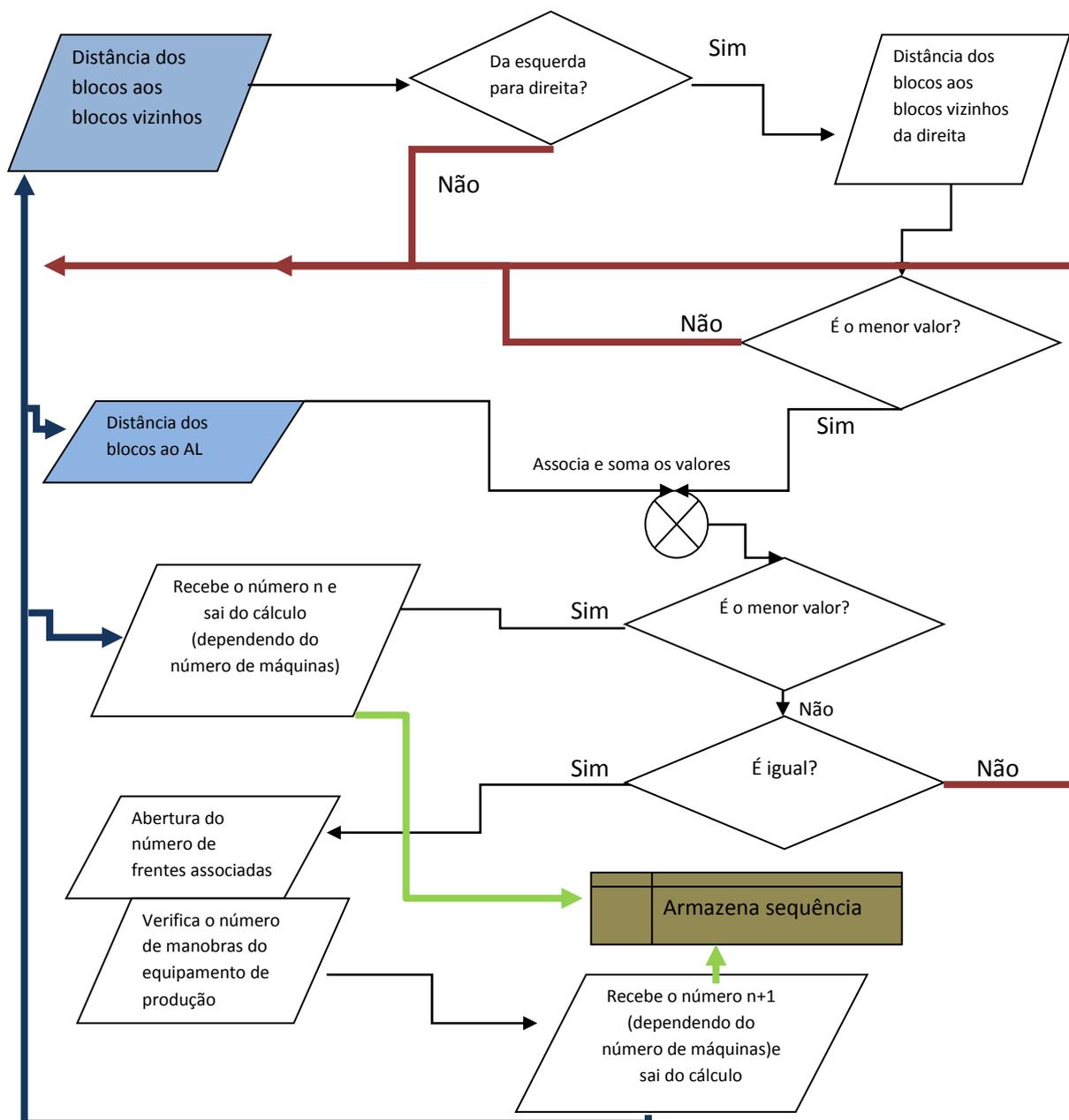
- r_{rank} = Coeficiente de correlação de Spearman
- d = diferença entre os ranks (dx-dy)
- n = número de amostras

Segundo ISAACS e SRIVASTAVA (1989) é importante notar que Pearson fornece uma medida linear de relação entre duas variáveis. Se a relação entre duas variáveis não for linear, o coeficiente de correlação pode ser muito pobre. Muitas vezes, é útil complementar a correlação linear com outra medida da intensidade da relação, o coeficiente de correlação de *rank*. Ainda, conforme os autores, as diferenças entre r_{rank} e r, também, pode revelar características importantes da relação entre duas variáveis. Se o coeficiente de correlação de *rank* é igual a um, então, as variações das duas variáveis são idênticas. O maior valor de “x” corresponde ao maior valor de “y”, sendo o menor valor de “x” correspondente ao menor valor de “y”. Se a correlação é um coeficiente, a relação entre “x” e “y” não precisam ser lineares. É, no entanto, monótona. Se o valor de “x” aumenta, então, o valor de “y” aumenta também. Para duas variáveis, cuja classificação de correlação do coeficiente é visivelmente maior do que sua correlação linear tradicional, o coeficiente pode apresentar uma relação não linear.

3.7. Proposta de sequenciamento de lavra

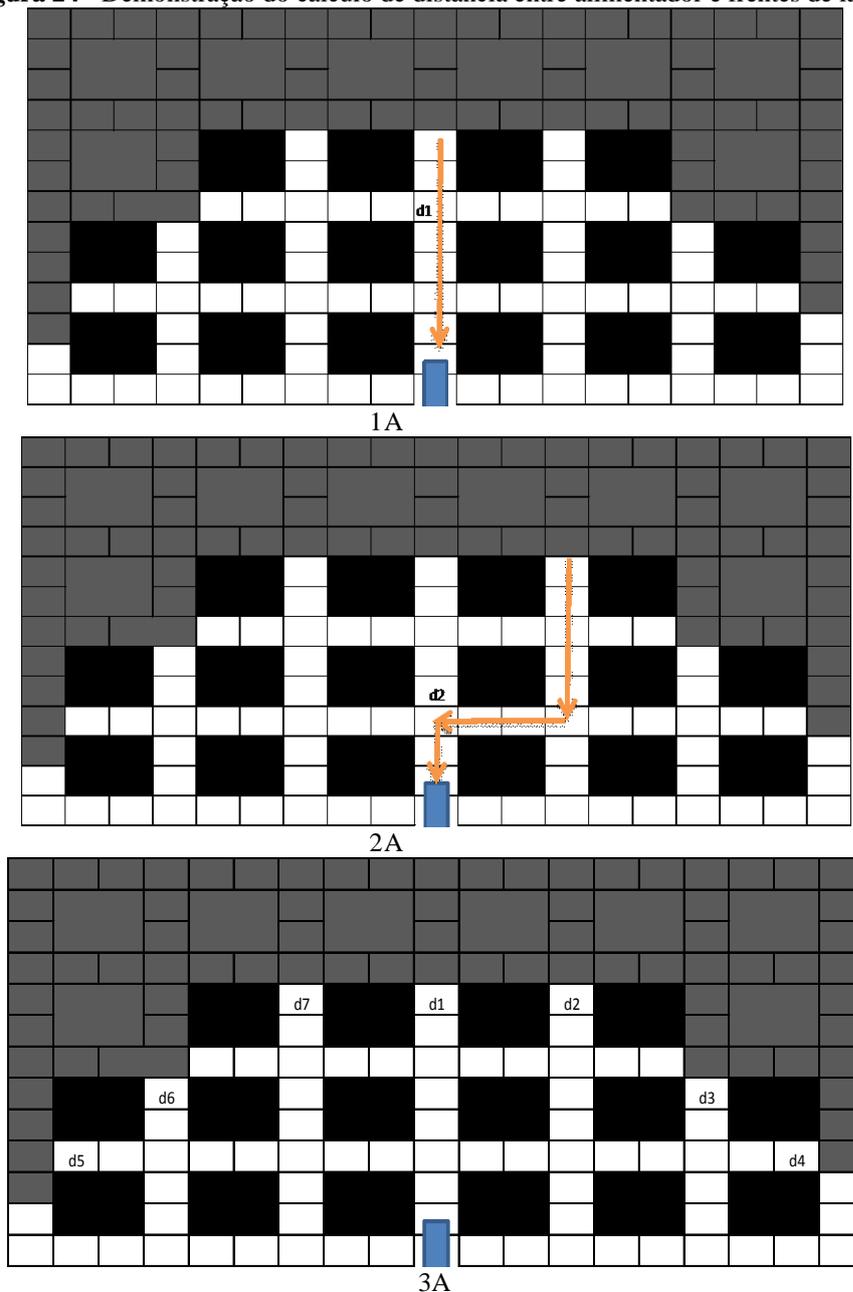
Devido ao fato da distância de transporte ter influência direta na produção, primeiramente, se propõe uma forma de sequenciar os blocos baseados nas distâncias de transporte das máquinas de produção ao alimentador em conjunto com as distâncias de movimentação de máquinas de preparação entre as frentes de serviço conforme algoritmo representado abaixo.

Figura 23- Fluxograma simplificado do processo de sequenciamento dos blocos do painel de lavra, onde em azul é o início do processo de cálculo de distância, e em marrom o final do processo.



Para esclarecer a proposta, primeiramente calcula-se a distância de transporte entre o alimentador e as frentes (chamamos de d). Ao calcular todas as distâncias de transporte entre o alimentador e os blocos, chama-se de d_n ($d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n+1}$), assim, tem-se uma sequência de valores. Para fins de contextualização e facilidade de visualização, criou-se um modelo didático simplificado para apresentar a proposta de sequenciamento o qual foi calculado modelo real e demonstrado no capítulo 4.

Figura 24 - Demonstração do cálculo de distância entre alimentador e frentes de lavra.



Fonte: Autor, 2015.

No exemplo da figura 24 (1A, 2A e 3A), cada bloco tem 5 metros e as distâncias ficam de acordo com a tabela 4:

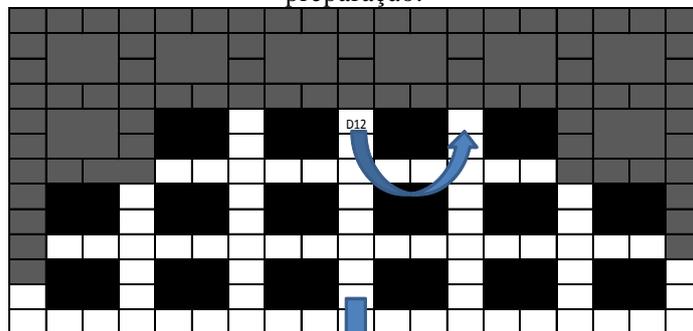
Tabela 4 - Valores de distâncias entre blocos e alimentador

Sigla d	Distância (m)
d1	40
d2	55
d3	55
d4	55
d5	55
d6	55
d7	55

Fonte: Autor, 2015.

Na próxima etapa, será realizado o cálculo da distância entre blocos(D) que abrange a etapa movimentação das máquinas de preparação da mina (tabela 5).

Figura 25 - Ilustração da distância entre blocos da movimentação das máquinas de preparação.



Fonte: Autor, 2015.

Tabela 5 -Distância calculada entre blocos.

SiglaDxy	Distância (m)
D 12	40
D 17	40
D 23	55
D 34	25
D 45	85
D 56	25
D 67	55
D 71	45 ¹

Fonte: Autor, 2015(¹ considerando que o bloco 1 foi retirado)

Assim, busca-se o menor valor para d e somamos ao menor valor de Dxy que tem o número associado ao dn. Por exemplo: o valor de d1 pode ser associado com o valor e D12 ou D17, pois são os únicos que estão na sequência.

Logo, como o menor valor é $d1 = 40$ podemos associar a D17 ou D12 que são iguais, portanto, parte-seda premissa de associar ao bloco da esquerda para a direita do painel, escolhendo o D12.

Então:

$$d1 + D12 = 80.$$

Fazendo isso para todos, tem-se a tabela 6:

Tabela 6- Soma da distância até o alimentador e entre blocos

Sigla d	Sigla D	Soma d+D (m)
d1	D12	80
d2	D23	110
d3	D34	80
d4	D45	140
d5	D56	80
d6	D67	110
d7	D17	100 ¹
Soma		600

Fonte:Autor, 2015(¹considerando que o bloco 1 já havia saído na chegada da etapaD17)

Deste modo, a soma dos elementos resulta em um valor que é o menor entre as associações possíveis para estes blocos.

Com este resultado, verifica-se que as etapas d1 D12; d3 D34 e d5 D56 são iguais em valores, então, pode-se escolher começar com o bloco que abre mais frentes (tabela 7), visto que o número de frentes aumenta a capacidade produtiva, conforme seção 3.5.

No caso do exemplo, o d1 abre três frentes, enquanto o d3 e d5 abrem somente duas, assim, é escolhido o d1.

Tabela 7 -Número de frentes após retirada do bloco

Sequência	Abertura de número de frentes
d1 D12	3
d3 D34	2
d5 D56	2

Fonte:Autor, 2015

Caso todos sejam iguais ainda, é dada preferência para a sequência com menores pontos de manobras associados (tabela 8), pois o número de manobras associadas aumenta o tempo de movimentação (HIRSCHI, 2012).

Tabela 8 - Número de manobras

Sequencia	Manobras
d1	0
d3	2
d5	2

Fonte:Autor, 2015

Portanto, os dois blocos iniciais escolhidos foram o d1 e d2, recebendo o valor de 1 e 2. Com a retirada do bloco número 1 e 2, uma nova configuração de distâncias é verificada, sendo realizado novamente a etapa de análise inicial. É calculada novamente a distância d (tabela 9).

Tabela 9 -Distância das frentes de serviço ao alimentador

Sigla d	Distância (m)
d1	45
d2	60
d3	55
d4	55
d5	55
d6	55
d7	55

Fonte:Autor, 2015

E novamente a distância D é atualizada.

Tabela 10 -Distância entre os blocos

Sigla D	Distância (m)
D 12	50
D 17	45
D 23	55
D 34	25
D 45	85
D 56	25
D 67	55
D 71	45

Fonte:Autor, 2015

E conseqüentemente a soma das seqüências, também, é recalculada (tabela 11).

Tabela 11 - Soma das distâncias entre blocos e alimentador

Sigla d	Sigla D	Soma das Distâncias (m)
d1	D12	95
d2	D23	115
d3	D34	80
d4	D45	140
d5	D56	80
d6	D67	110
d7	D17	100 ¹
	Soma	620

Fonte:Autor, 2015

Partindo-se do bloco d2, obrigatoriamente, a vantagem seria não direcionar a seqüência para o bloco d3, mas sim retornar para o bloco d1. Porém, como em cada frente de serviço haverá o número de operações unitárias, que devem ser cumpridas de forma compulsória, a seqüência inicial tem que aceitar o número de frentes da quantia de operações unitárias. No caso do proposto na tabela 4, logo as quatro primeiras tem que ser executadas independentes do novo valor menor de d1. Se

fossem duas operações unitárias simultâneas, somente as duas primeiras deveriam ser obrigatórias. Assim, d1 só será liberado quando chegar em d5 (tabela 12).

Tabela 12 - Soma das distâncias, obrigatória a retirada dos dois primeiros blocos em negrito

Sigla d	Sigla D	Soma das distâncias (m)
d1	D12	80
d2	D23	110
d3	D34	80
d4	D45	140
d5	D56	80
d6	D67	110
d7	D17	100 ¹
	Soma	600

Fonte: Autor, 2015

Após a extração do bloco d5, é feito, novamente, o cálculo de dn (tabela13).

Tabela 13 - Soma das distâncias, obrigatória a retirada dos blocos d1, d2, d3...

Sigla d	Distância d (m)	Sigla D	Distância D (m)	Soma distâncias d+D(m)
d1	45	D12	50	95
d2	60	D23	35	95
d3	60	D34	35	95
d4	60	D45	90	150
d5	55	D56	25	80
d6	55	D67	55	110
d7	55	D17	45	100
		Soma		725

Fonte: Autor, 2015.

Após a extração do bloco d4, verifica-se que o bloco mais próximo é o d5, pois o d1 ainda não foi liberado. Após o quinto bloco, pode-se retornar ao d1, no entanto o valor é menor, continuando a sequência estipulada no início. O valor novo para d1 será calculado somente quando d5 estiver na ordem de uso. Voltamos ao inicial:

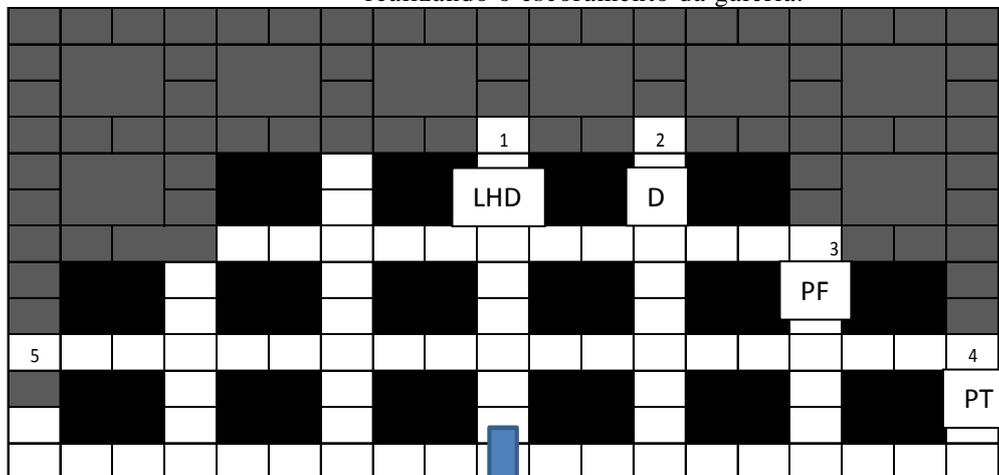
Tabela 14 -Resumo de todos os aspectos de decisão

Sigla d	Distância (m)	Sigla D	Distância (m)	Soma d+D(m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	40	D12	40	80	3	0	1
d2	55	D23	40	110	3	2	2
d3	55	D34	55	80	2	2	3
d4	55	D45	85	140	1	2	4
d5	55	D56	25	80	2	2	5
d6	55	D67	25	110	2	2	
d7	55	D17	55	100 ¹	3	2	
		Soma		600	maior	menor	

Fonte: Autor, 2015.

Ao chegar ao bloco 5, tem-se a liberação do d1 que terá que ser recalculado, assim como os demais até o d5 (tabela 15).

Figura 26 - Sequência inicial baseada na distância, onde temos as frentes ocupadas por LHD recolhendo carvão; D (desmonte de rocha); PF fazendo os furos de frente; PT realizando o escoramento da galeria.



Fonte: Autor, 2015.

Tabela 15 - Sequenciamento por somatório de fatores de maior rendimento

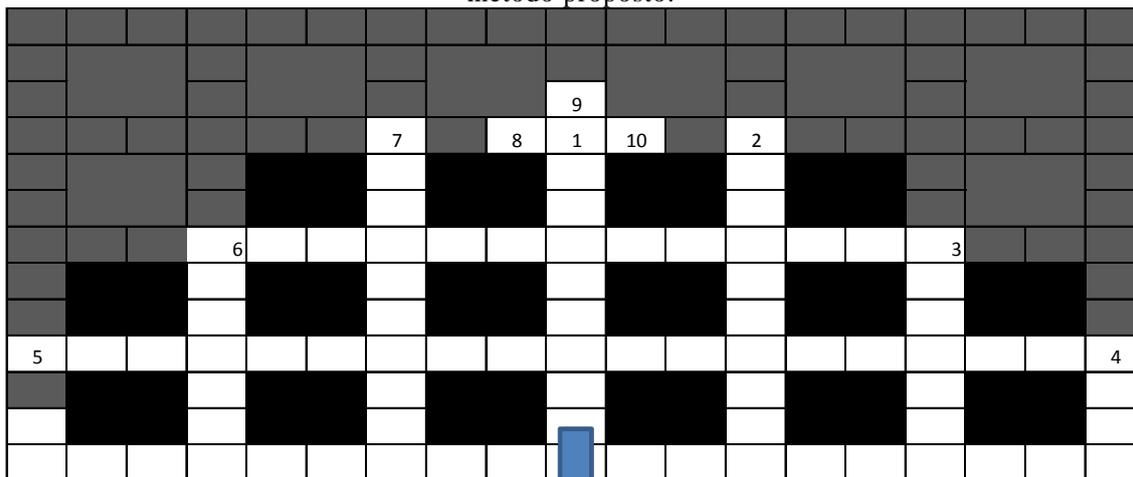
Sigla d	Distância (m)	Sigla D	Distância (m)	Soma das d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1.	45	D1.2	50	95	1	0	8
d1..	45	D1..2	50	95	1	0	9
d1...	45	D1...2	50	95	1	0	10
d2.	60	D2.3	35	95	1	2	
d2..	60	D2..3	35	95	1	2	
d2...	60	D2...3	35	95	1	2	
d3.	60	D3.4	35	95	1	1	
d3..	60	D3..4	35	95	1	1	
d4.	60	D4.5	95	155	1	1	
d5	60	D56	25	85	1	1	
d6	55	D67	25	110	2	2	6
d7	55	D17	55	100¹	3	2	7
					Maior	Menor	

Fonte: Autor, 2015

Os pontos de Sigla d na tabela 15 significam blocos da esquerda para à direita, sendo que cada um recebeu um ponto d. , d.. e d... somente como uma questão de notação. Em amarelo, valores que não mudam. Como está no bloco 5, temos a opção de ir para o d6 ou para o d4. Como o d4 é menor, continua-se numerando o d6 como 6.

Verifica-se que d é incrementado de um valor sempre equivalente ao tamanho igual ao do bloco. A Figura 27 apresenta a numeração da sequência dos blocos de acordo com o algoritmo apresentado na Tabela 15.

Figura 27 - Nova configuração do painel de lavra com sequenciamento dos blocos pelo método proposto.



Fonte: Autor2015

Continuando o processo de sequenciamento, têm-se os resultados na tabela 16:

Tabela 16 -Sequenciamento demonstrando todos os processos de decisão e fatores relacionados.

Sigla d	Distância (m)	Sigla D	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1.	50	D12	55	105	1	1	
d1..	50	D12	55	105	1	1	
d1...	50	D12	55	105	1	1	
d2.	60	D23	35	95	1	2	11
d2..	60	D23	35	95	1	2	12
d2...	60	D23	35	95	1	2	13
d3.	60	D34	35	95	1	1	14
d3..	60	D34	35	95	1	1	15
d4.	60	D45	95	155	1	1	16
d5	60	D56	35	95			
d6	60	D67	35	95			
d7	60	D17	55	115			

maior menor

Fonte: Autor, 2015

Quando o bloco obrigatório é minerado, então, o alimentador é avançado, caso o tempo decorrido entre o início do processo e a abertura do bloco obrigatório seja maior que o ponto de máximo da função. Caso contrário, prevalece o ponto de máximo da função como mandatário do avanço do alimentador. Cumprindo a etapa de avanço, todo o processo de numeração dos blocos começa novamente, pois há uma nova configuração de distâncias.

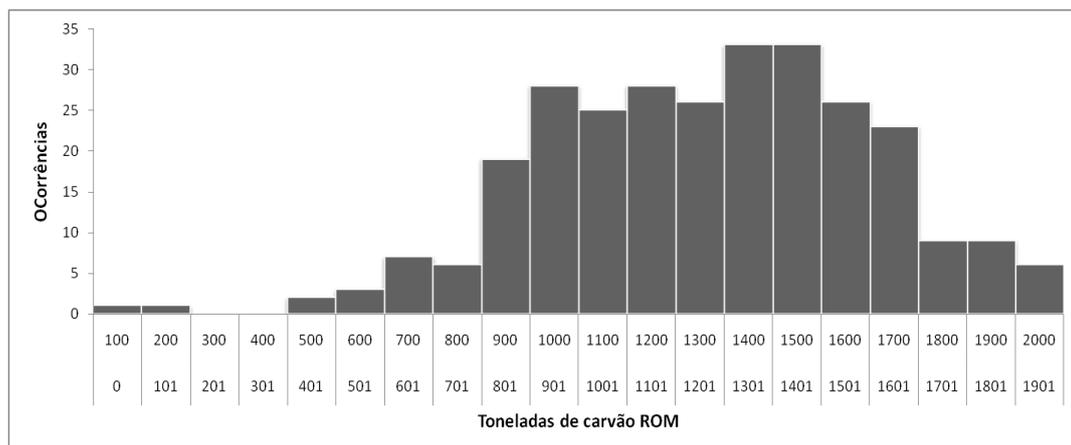
Capítulo 4

Neste capítulo, apresenta-se o sequenciamento de lavra subterrânea para o método de lavra câmaras e pilares para o caso de estudo onde foi desenvolvida a metodologia proposta. A análise dos resultados dos trabalhos referentes ao acompanhamento dos avanços de correia transportadora também está modelada e apresentada nesse capítulo para validar a proposta desse estudo.

4.1. Dados de produção

Em relação à produção, o histograma dos dados obtidos demonstrou que a produção média é de 1.274 t/dia. A figura 28 mostra a distribuição total de produção.

Figura 28 -Histograma dos dados de produção de toneladas de carvão ROM analisados em um ano e quatro meses de produção.



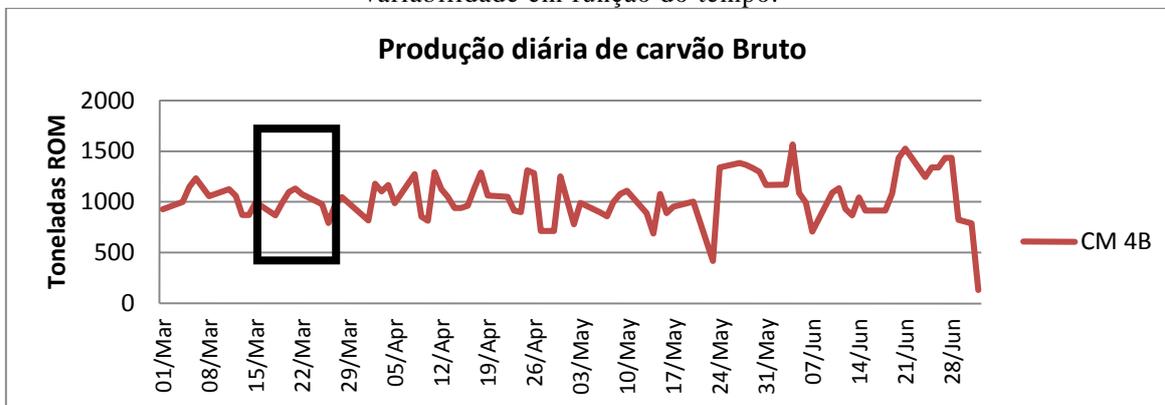
Fonte: Autor, 2015

Os histogramas são um método simples e eficaz de exibir diversos atributos de uma série de dados, assim como são uma forma de avaliação qualitativa da dispersão (SINCLAIR, 2004). Com isso é possível verificar que o resultado segue um comportamento aproximadamente normal de distribuição com somente uma população envolvida, assim sendo, mais simples o estudo estatístico.

Porém, quando os dados de produção são analisados de forma global, dificilmente se identifica algum padrão que demonstre de maneira simplificada o processo de tomada de decisão e as formas de reproduzir algo que pareça de extrema complexidade, como se constata na figura 29. Todavia, quando se vincula os dados a fatos conhecidos, pode-se, então, identificar padrões e formas de controle para reprodução dos fenômenos envolvidos no processo produtivo. Como exemplo, tem-se o

avanzamento da alimentação primária. A área destacada entre os dias 15 a 23 de março, na figura 29 está apresentada em uma ampliação na figura 31, onde podemos então reconhecer um padrão existente e possível de se reproduzir, que no caso é o avanço do alimentador.

Figura 29 -Produção em toneladas por dia de um período de tempo, demonstrando a variabilidade em função do tempo.



Fonte: Autor, 2015.

Como o objetivo é vincular os dados ao avanço da correia transportadora e, conseqüentemente, associar isto a distância de transporte a qual está intimamente ligada. O quadro 2 mostra as datas dos avanços das correias transportadoras.

Quadro 2 - Datas dos avanços do alimentador em conjunto com a correia.

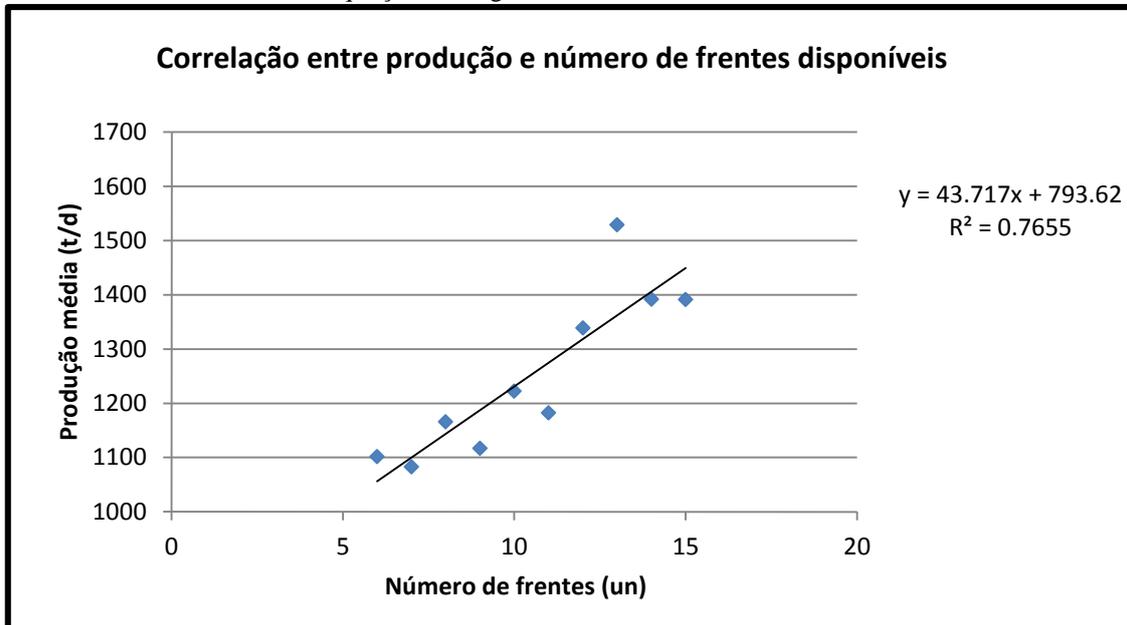
DATAS AVANÇAMENTOS
12-Mar-2013
28-Mar-2013
15-Apr-2013
10-May-2013
4-Jun-2013
3-Jul-2013
31-Jul-2013
2-Sep-2013
28-Oct-2013
14-Nov-2013
17-Dec-2013
18-Feb-2014
13-Mar-2014
7-Apr-2014
27-May-2014
6-Jun-2014

Fonte: Autor, 2015.

Conforme discutido na seção 3.5, foi realizado também o acompanhamento do número de frentes de serviço por dia de produção, e é possível comprovar a hipótese de que a quantidade de frentes de lavra é diretamente

proporcional à produção final, através dos dados apresentados da figura 30, a qual apresenta a correlação entre as variáveis citadas.

Figura 30 - Correlação da produção com relação ao número de frentes de lavra, a lateral a equação de regressão com o valor de R².



Fonte: Autor, 2015

Pode-se relacionar este fato com a observação comprovada pelo cálculo de tempo útil (utilização) de um equipamento pela metodologia OEE. Neste caso, a equação 10 que rege a utilização:

$$U = \frac{tp - td}{td} \quad (10)$$

Onde:

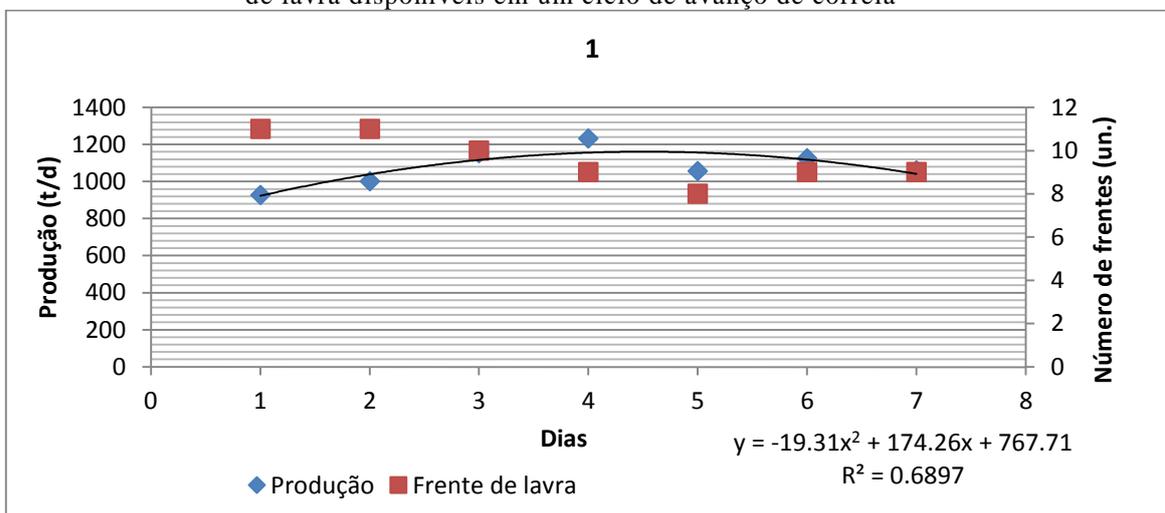
- U=utilização;
- tp = tempo total de paradas operacionais não previstas (não inclui parada mecânica/elétrica);
- td=tempo total disponível.

Assim, quanto maior o número de frentes, maior o numerador e, conseqüentemente, maior produção possível. Isto é consequência da diminuição de tempos improdutivos do maquinário, onde a produção agora está limitada somente pela própria capacidade da máquina em uso máximo dentro do seu ciclo produtivo, e não mais por perdas operacionais.

Se ao representar estes dados referentes ao número de frentes de serviço, em conjunto com os dados de produção, fosse verificado que os dados de produção seguem a tendência do número de frentes, consequentemente, isso descartaria a validade da regressão para objeto de estudo. Isto significaria que o resultado da produção estaria somente atrelado à quantidade de frentes disponíveis, e não à distância de transporte.

Mas como ainda existe a influência comprovada do número de frentes em relação a produção, temos que tratar estes dados. Por ser uma variação linear, tendo pela regressão o gráfico indicado pela figura 30, cuja equação de regressão ajustada está apresentada no gráfico da figura 30 ($y = 43,71x + 793,6$), isso significa que há um aumento de 43,71 toneladas por frente, tanto para mais ou para menos no processo. Deste modo, para ser significativo, as frentes deveriam oscilar mais que três a quatro unidades em um dia, assim, seria excluído como valor extremo. Isso pelo fato de ultrapassar duas vezes o desvio padrão definido anteriormente. Para visualizar este efeito, a figura 31 demonstra um ciclo de avanço de correia conjuntamente com o número de frentes. Na figura 31 verifica-se que os dados não acompanham o número de frentes e sim a produção diária, logo os dados não são afetados pelo número de frentes neste caso.

Figura 31 - Gráfico de correlação entre produção e os dias, associados ao número de frentes de lavra disponíveis em um ciclo de avanço de correia



Fonte: Autor, 2015

4.2. Resultado da regressão

Como resultado da regressão, buscou-se os resultados que fossem mais representativos da sequência de produtividade de um dado período de tempo. Assim, foram aceitos valores de coeficiente de determinação $R^2 > 0,40$ e ou coeficiente de correlação de Spearman maiores que $r_{\text{rank}} > 0,35$. De acordo com o quadro 3, foram analisadas 18 sequências de avanço da correia e encontram-se destacados os que obtiveram maior aderência ao modelo proposto.

Quadro 3 -Resultados das regressões polinomiais contendo: R^2 coeficiente de determinação;coeficiente de variação (CV); r (coeficiente de correlação de Pearson), r_{rank} (coeficiente de correlação de Spearman).

	Equação da regressão	R^2	CV	r	r_{rank}
Gráfico 1	$y = -19.31x^2 + 174.2x + 767.7$	0.689	0.09	0.42	0.43
Gráfico 2	$y = -4.469x^2 + 70.11x + 775.4$	0.544	0.10	0.55	0.35
Gráfico 3	$y = -3.516x^2 + 45.70x + 943.5$	0.084	0.16	-0.08	0.06
Gráfico 4	$y = 0.824x^2 - 25.56x + 1157$	0.088	0.19	-0.28	-0.29
Gráfico 5	$y = 26.32x^2 - 195.5x + 1219$	0.238	0.16	-0.14	-0.09
Gráfico 6	$y = -22.84x^2 + 205.5x + 914.6$	0.708	0.26	0.35	0.37
Gráfico 7	$y = -1.554x^2 + 48.68x + 806.3$	0.182	0.30	0.36	0.32
Gráfico 8	$y = -2.360x^2 + 29.97x + 1111.$	0.29	0.19	-0.40	-0.39
Gráfico 9	$y = -0.472x^2 + 5.282x + 861.7$	0.064	0.18	-0.22	-0.06
Gráfico 10	$y = -0.805x^2 + 53.25x + 660.5$	0.417	0.30	0.60	0.57
Gráfico 11	$y = -5.447x^2 + 53.38x + 1513$	0.077	0.10	0.16	0.17
Gráfico 12	$y = -0.659x^2 + 1.061x + 1485$	0.133	0.23	-0.35	-0.33
Gráfico 13	$y = 0.04x^2 - 1.513x + 1325$	0	0.25	-0.01	-0.04
Gráfico 14	$y = -5.753x^2 + 102.5x + 1132$	0.404	0.12	0.48	0.41
Gráfico 15	$y = 16.29x^2 - 187.3x + 1822$	0.162	0.26	0.07	0.13
Gráfico 16	$y = -0.131x^2 + 15.48x + 1400.$	0.381	0.14	0.62	0.58
Gráfico 17	$y = -12.39x^2 + 32.34x + 1576$	0.148	0.12	-0.36	0.00
Gráfico 18	$y = -7.531x^2 + 13.13x + 1630$	0.754	0.14	-0.84	-0.80

Fonte: Autor, 2015.

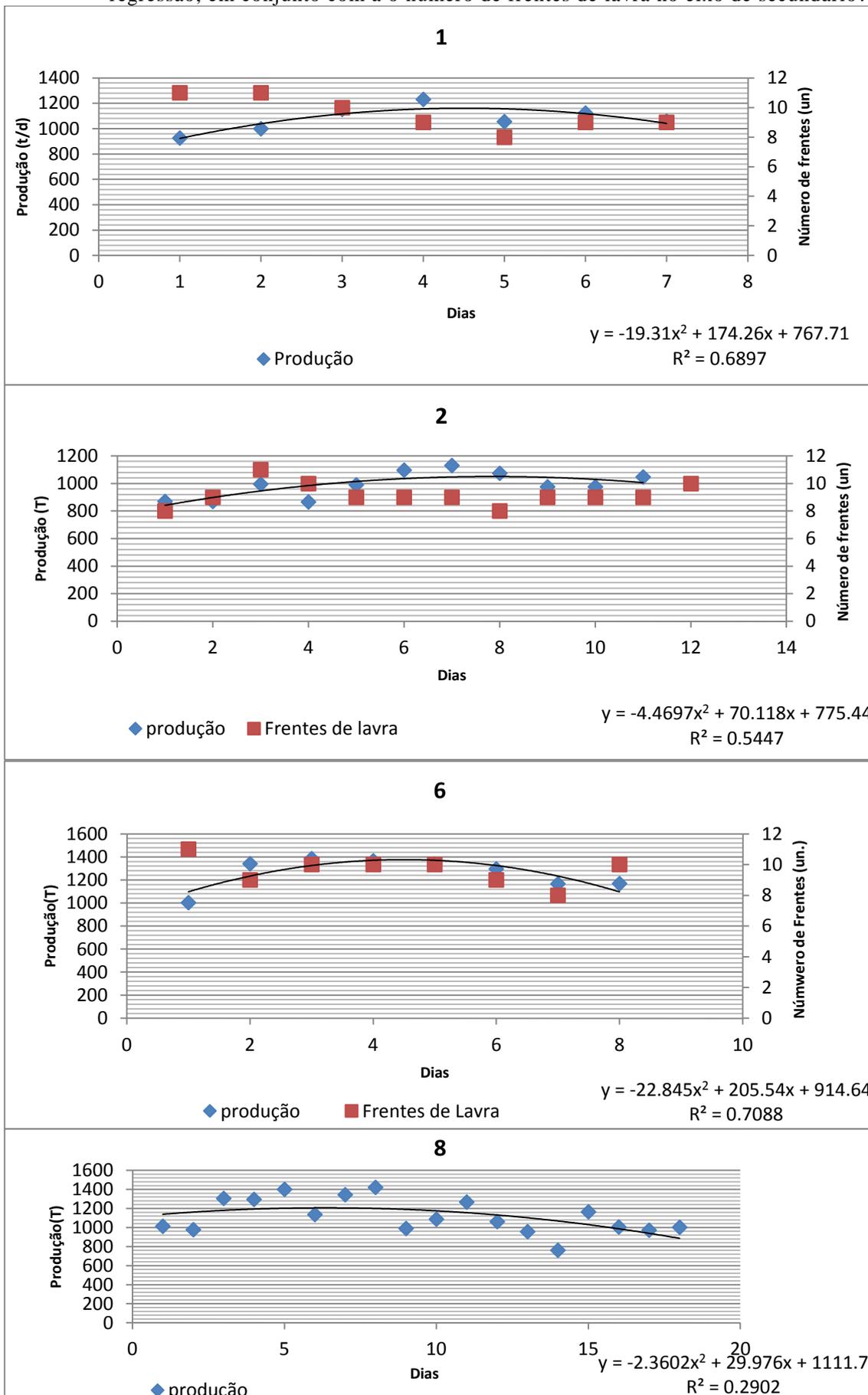
A representação gráfica dá uma melhor idéia do comportamento da produção em relação ao tempo. Verifica-se que existe uma tendência ao aumento diário da produção, logo, após o evento do avançamento e posteriormente ao declínio da produção, estes comportamentos se repetem nas diversas situações verificadas, demonstrando que há uma tendência associada ao mesmo.

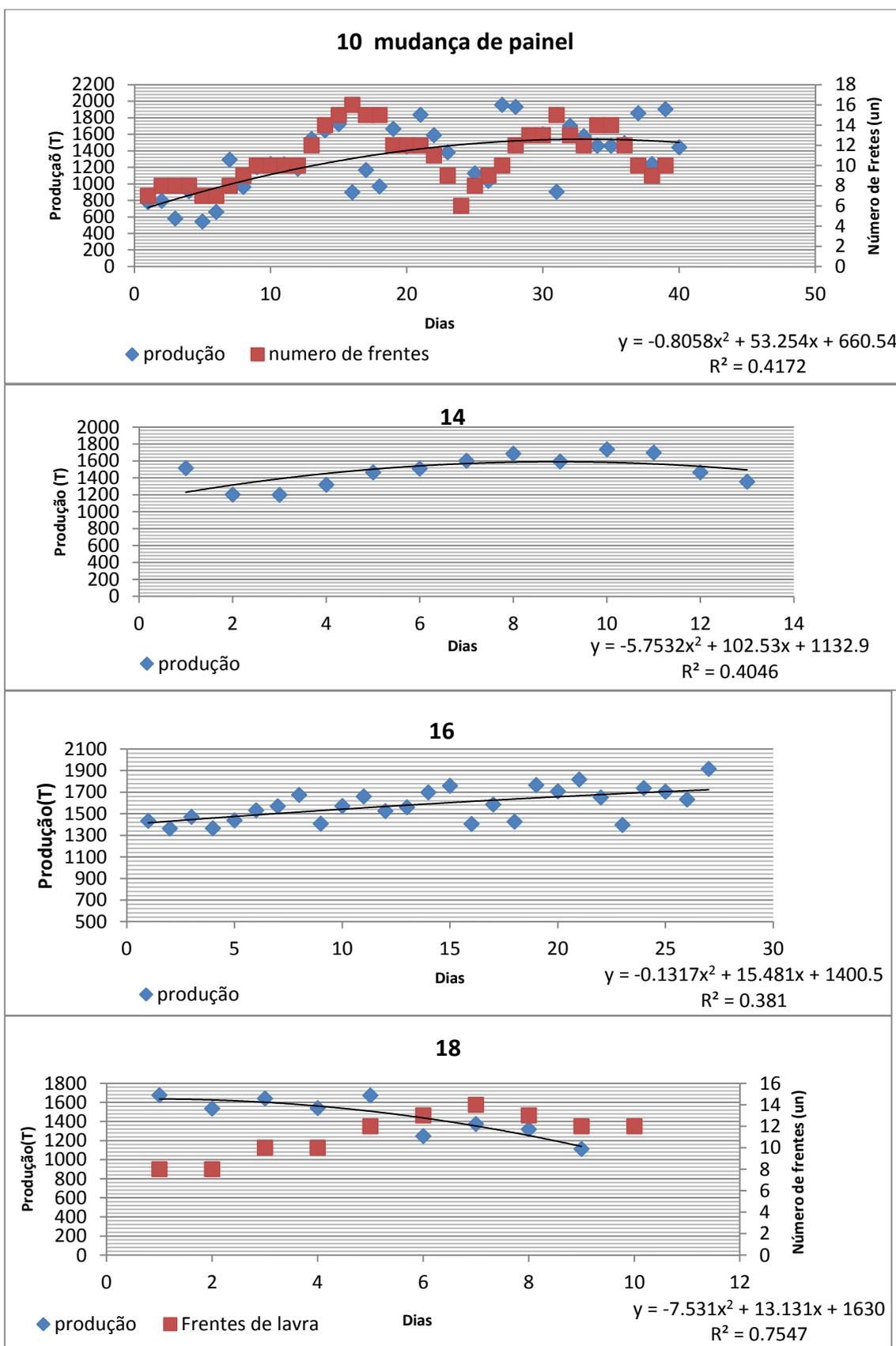
Diferentemente de uma reta com inclinação negativa esperada e encontrada pelas simulações de BECKETT (1976), a correlação se mostrou com uma aderência muito grande a uma curva, o que é explicado pela associação e uso de duas LHDs no processo, diferentemente do simulado por BECKETT (1976) que utilizou somente uma máquina para descrever o seu modelo. Assim, explica-se este fenômeno

pelo fato de duas máquinas não produzirem o dobro de uma máquina, mas sim um valor menor e dependente da distância de transporte e que se pode associar a esta curva. Esse valor menor é crescente, pois quanto mais próximo estiver o alimentador, maior a influência de uma máquina na produtividade da outra, até o ponto de máxima produtividade das duas LHDs, que ocorre quando uma deixa de influenciar na outra máquina por ter espaço para trabalho. Por outro lado, o aumento da produtividade individual ocasionado pelo distanciamento acaba sendo limitado pela distância média de transporte crescente. Então, pode-se concluir que o alimentador deve estar a uma distância, não somente a mais próxima das frentes de serviço, como foi primeiramente pensado, mas, sim, a distância ideal para que as duas máquinas possam ter o máximo de produtividade com a mínima interferência entre elas.

O coeficiente de variação dos dados selecionados é menor que 0,5, portanto, isso significa que é uma distribuição normal e haverá pouco problema associado à correlação de amostras por haver pouca dispersão. Verificou-se, também, que o coeficiente de correlação de Pearson (r) é um valor muito próximo do valor do coeficiente de correlação de Spearman.

Figura 32–Gráficos de etapas de avançamentos do alimentador demonstrando a tendência da regressão, em conjunto com a o número de frentes de lavra no eixo de secundário.





Fonte: Autor, 2015.

O Gráfico 10 possui um coeficiente de variação igual a 0,3 e reflete uma mudança de painel, o que significa que não é a continuidade de um processo para outro e existe grande variação no número de frentes, assim, descartou-se para o objetivo do trabalho. O gráfico 16 não reflete o tempo necessário para o avanço e, também, não foi utilizado, pois faltavam dados complementares (figura 32).

Como o objetivo principal foi obter o valor máximo da função e consequente produção máxima, pode-se, então, buscar quando a inclinação do gráfico for igual a zero ou ponto de inflexão, sendo assim, o valor máximo da função é obtido com a derivada da função, igualando a mesma a zero (DRAPPER, 1998). Fazendo isso para os diversos valores encontrados, têm-se os exemplos do quadro 4, que evidenciam seu ponto máximo de inflexão que refletem em quantos dias este ponto será alcançado.

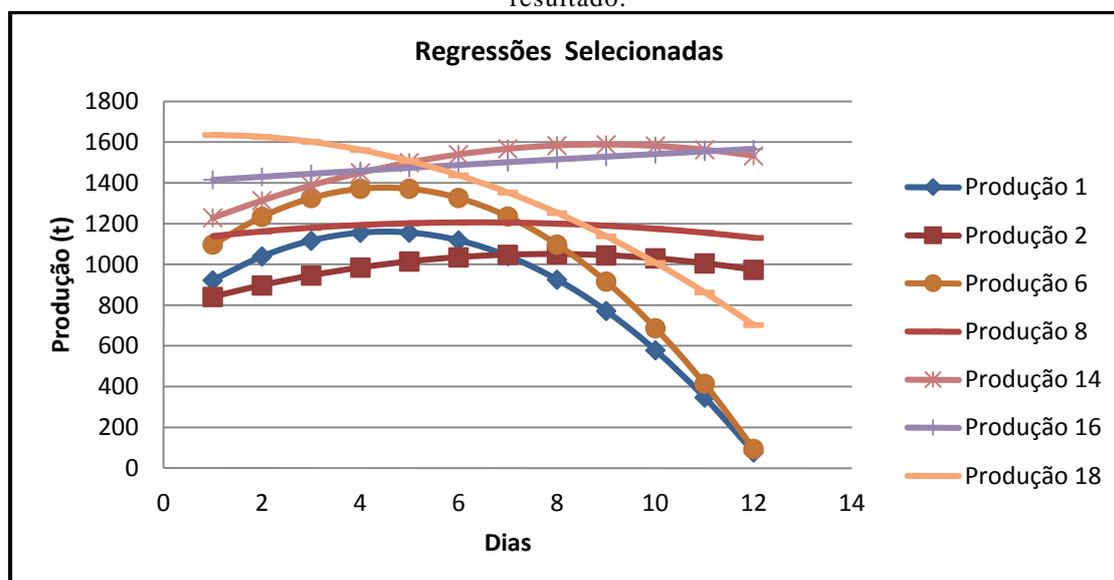
Quadro 4 -Ponto máximo dos gráficos de regressão.

	Equação	Ponto máximo
gráfico 01	$y = -19.31x^2 + 174.2x + 767.7$	4.5
gráfico 02	$y = -4.469x^2 + 70.11x + 775.4$	7.8
gráfico 06	$y = -22.84x^2 + 205.5x + 914.6$	4.5
gráfico 14	$y = -5.753x^2 + 102.5x + 1132$	8.9
gráfico 18	$y = -7.531x^2 + 13.13x + 1630$	0.9

Fonte: Autor, 2015.

Com base nas informações, pode-se reproduzir o fenômeno por meio de um gráfico quadrático de produção x tempo. Na figura 33, verificam-se todos os gráficos reproduzidos juntos.

Figura 33 - Gráfico de linhas representando as regressões selecionadas para obtenção do resultado.



Fonte: Autor, 2015.

Na figura 33, os gráficos estão associados às etapas de avançamento e produções resultantes do trabalho. Cada gráfico representa uma etapa do avançamento do alimentador e se chamada de produção 1. Representa o primeiro avanço acompanhado do alimentador e, em seguida, a produção 2 começa um dia após o término do gráfico da produção 1 e assim consecutivamente.

Nota-se o declínio da produção a partir do dia 4 ou 5 após o avançamento, que coincide com o valor máximo da função, portanto sempre mantendo uma taxa negativa de crescimento da produção em função do tempo.

No gráfico 14, constata-se que existe um crescimento lento da produção em função do tempo e isso se deve a características locais do painel de lavra, diferenciando-se das demais, entretanto o mesmo mantém a característica de crescimento em função do tempo e posterior queda da produtividade.

Em termos de estratégia de produtividade da lavra, quanto antes fosse possível o avanço do alimentador, melhor seria a produtividade, por diminuir a distância de transporte e o tempo de manobra dos equipamentos, porém se o avanço for precoce demais, isso irá refletir em perda de reserva por que as galerias que ficam para trás do alimentador não podem ser mais mineradas no processo produtivo, e também perda de produção, por isso devem ser respeitadas condições de contorno explicados no item 4.3 para ocorrer o mesmo. Percebeu-se, também, que a distância ideal para a maior produtividade ocorre no 4° ou 5° dia útil, pois as máquinas de produção têm seu máximo rendimento.

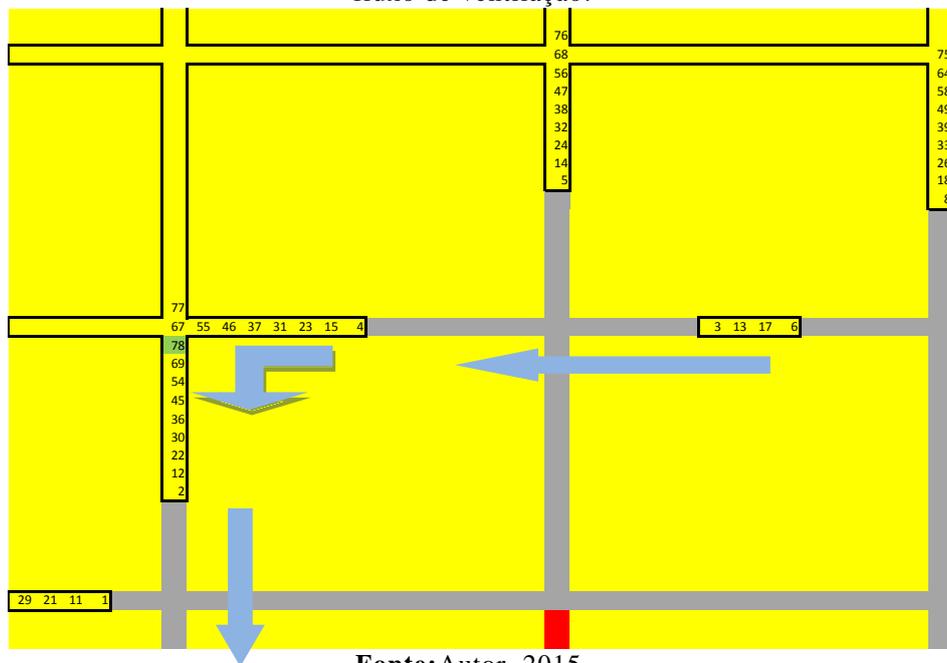
4.3. Condições de contorno para o avançamento

Existem algumas condições de contorno que devem ser respeitadas para que ocorra o avanço da correia transportadora para a próxima galeria perpendicular desenvolvida. Essas são referentes às necessidades de ventilação de transporte e fatores estratégicos, como produtividade máxima e perda de reserva. Deste modo, quando as condições são respeitadas, realiza-se o avanço da mesma, buscando maior produção por turno.

A ventilação é um item crítico em minas subterrâneas de carvão e os cuidados necessários precisam ser tomados. Existem galerias de abertura obrigatória, as quais são chamadas de blocos obrigatórios, onde devem ser lavrados obrigatoriamente antes do avanço do alimentador. Na figura 34, o bloco obrigatório é o de número 78,

desta forma, somente pode avançar o conjunto quando o bloco obrigatório for retirado e conseqüentemente todos os anteriormente a ele, assim, possibilitando a ventilação principal passar pela galeria a frente do alimentador e com isso o mesmo não obstrui a passagem da ventilação.

Figura 34 - Sequenciamento ilustrativo de um painel de lavra onde os números determinam a retirada do bloco, sendo o de menor número o primeiro a ser retirado. Em azul demonstrado o fluxo de ventilação.



Fonte: Autor, 2015.

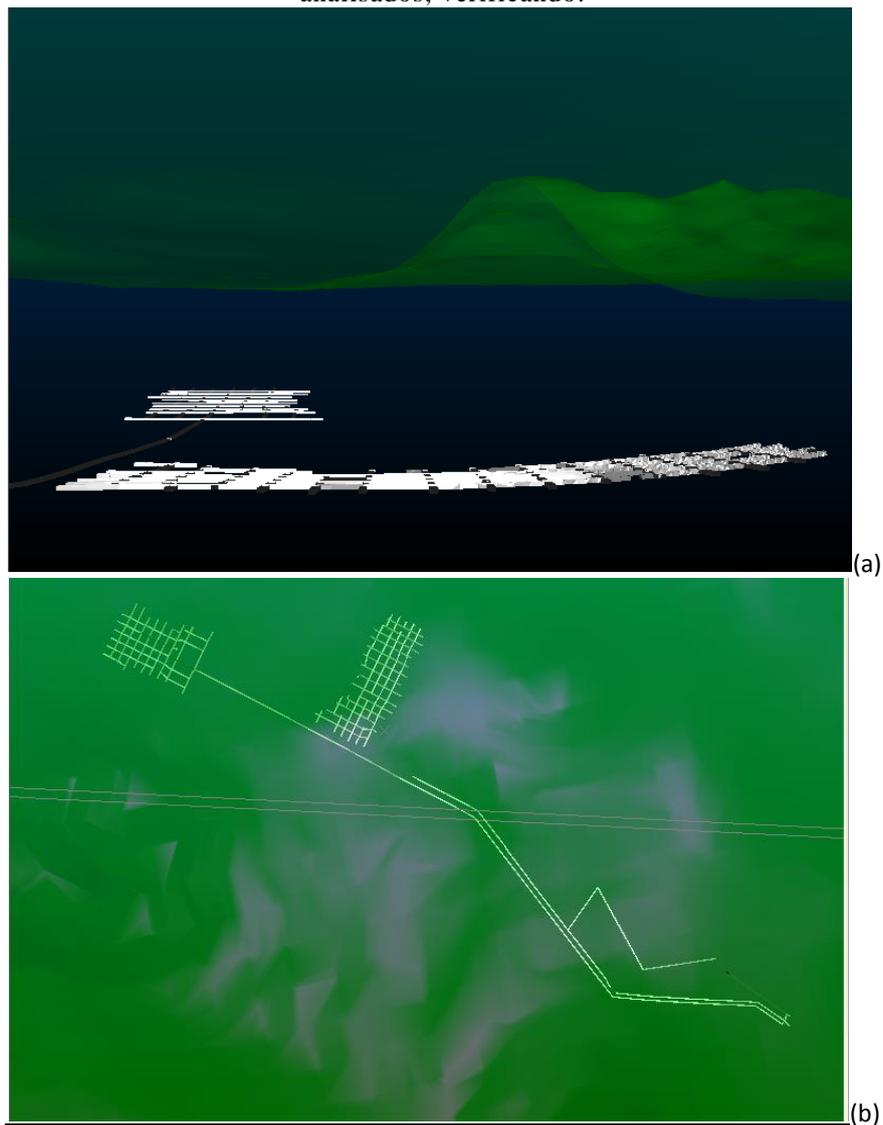
Em minas com presença de gases combustíveis não é aconselhado, por questões de segurança, deixar galerias sem comunicação, - “fundo de saco”, nas laterais dos painéis de lavra, podendo haver acúmulo destes gases inflamáveis e ocasionar explosões, no entanto, em algumas minas a presença é quase nula, assim, não há problemas na questão de acúmulo de gases.

Feito o sequenciamento ótimo com os parâmetros de contorno obedecidos, o sequenciamento, uma vez realizado, será repetido continuamente até o fim do painel.

4.4. Sequenciamento ótimo

Para fins de visualização e melhor compreensão do ambiente do estudo de caso em questão, realizou-se o desenho dos painéis objetos do estudo com uso do Software DATAMINE STUDIO 3® e da ferramenta *underground*, criando o desenho das galerias, conforme os dois painéis desenvolvidos na figura 35.

Figura 35 - Vista em perspectiva (a) e vista superior (b) do projeto da mina com os painéis analisados, verificando.



Fonte: Autor, 2015

Para tentar reproduzir este efeito da distância de transporte, realizou-se o sequenciamento e locação da taxa de avanço por uso do software *Enhanced Production Scheduler* (EPS), conforme a figura 36, visualizado e sequenciando manualmente pelo MINE2-4D, com a comparação da produção realizada e da simulada.

Para isso, tratou-se os dados, transformando as produções que estão em toneladas em avanço linear (metros) e com a divisão da tonelagem pelo valor do bloco, resultando no número de blocos. O número de blocos associado ao valor do avançamento do desmorte, chegou-se ao avançamento linear como taxa de produção em metros por dia, de acordo com o quadro 5. Essa etapa é necessária para a utilização do programa em questão.

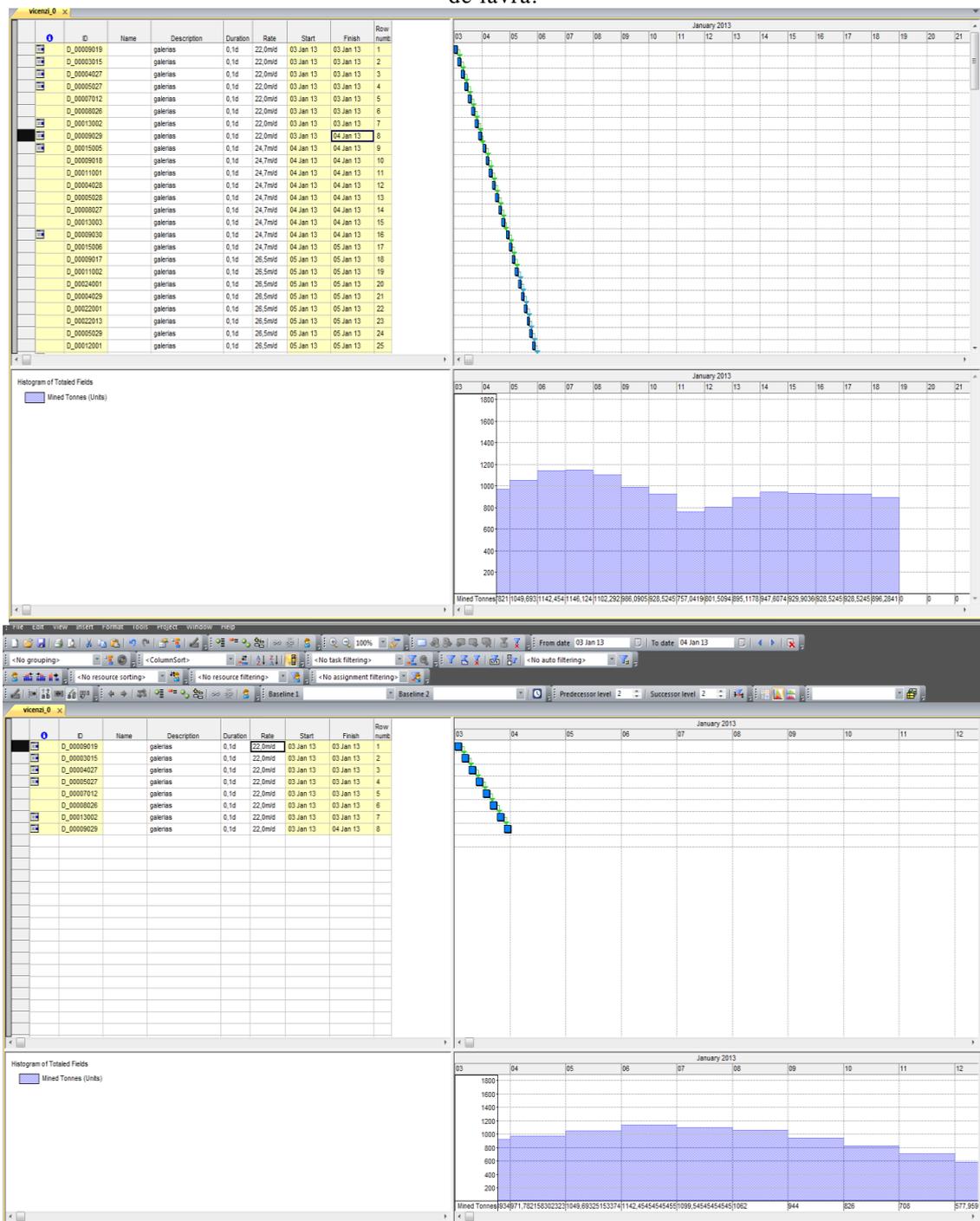
Quadro 5 - Quadro contendo as produções diárias e a transformação da produção em avanço linear e número de blocos por dia de produção da equação de regressão referente à produção 1 e 2.

Simulação						
dia	Produção 1	Blocos 1	taxa (m/d)	Produção 2	Blocos 2	taxa (m/d)
1	923	8	22	841	7	20
2	1039	9	25	898	8	21
3	1117	9	26	946	8	22
4	1156	10	27	984	8	23
5	1156	10	27	1014	9	24
6	1118	9	27	1035	9	25
7	1041	9	25	1047	9	25
8	925	8	22	1050	9	25
9	771	7	18	1044	9	25
10	579	5	14	1030	9	24
11	347	3	8	1006	9	24
12	77	1	2	973	8	23

OBS: Produção em toneladas; Blocos = produção / 118 ton; taxa blocos X avanço (2.8)

Fonte: Autor, 2015

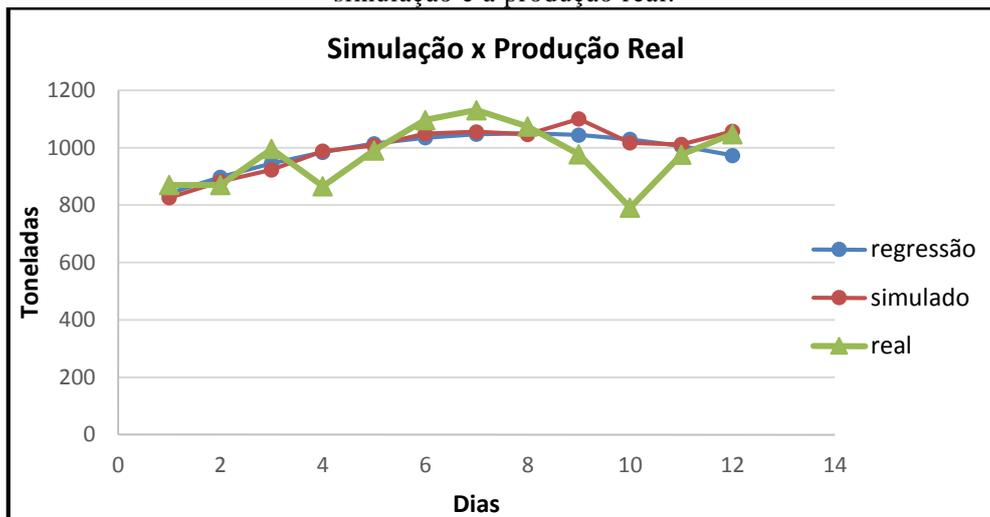
Figura 36 - Dados de Simulação do EPS representando o número de blocos e a taxa de avanço de lavra.



Fonte: Autor, 2015.

Ao simular, manualmente, pode-se comprovar que existe uma aderência ao projeto, conforme comparativo na figura 37.

Figura 37 - Gráfico de comparação com a simulação realizada com a produção proveniente da simulação e a produção real.

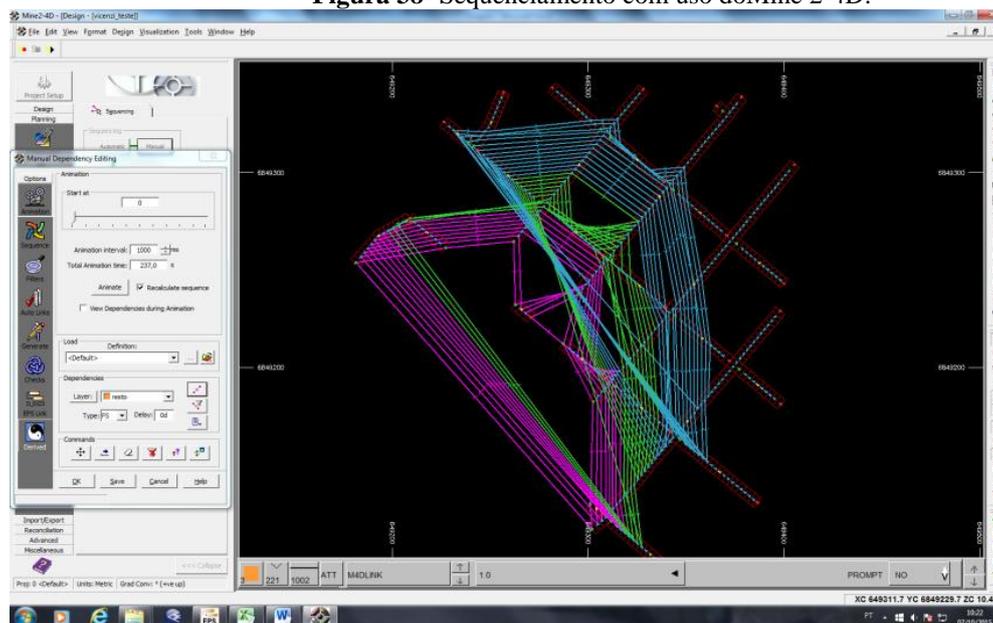


Fonte: Autor, 2015

Praticamente não houve diferença entre o valor simulado e o valor real, porém a forma executada não é a mais simples, pois o sequenciamento é manual e maçante, o que torna isso improdutivo para uso contínuo.

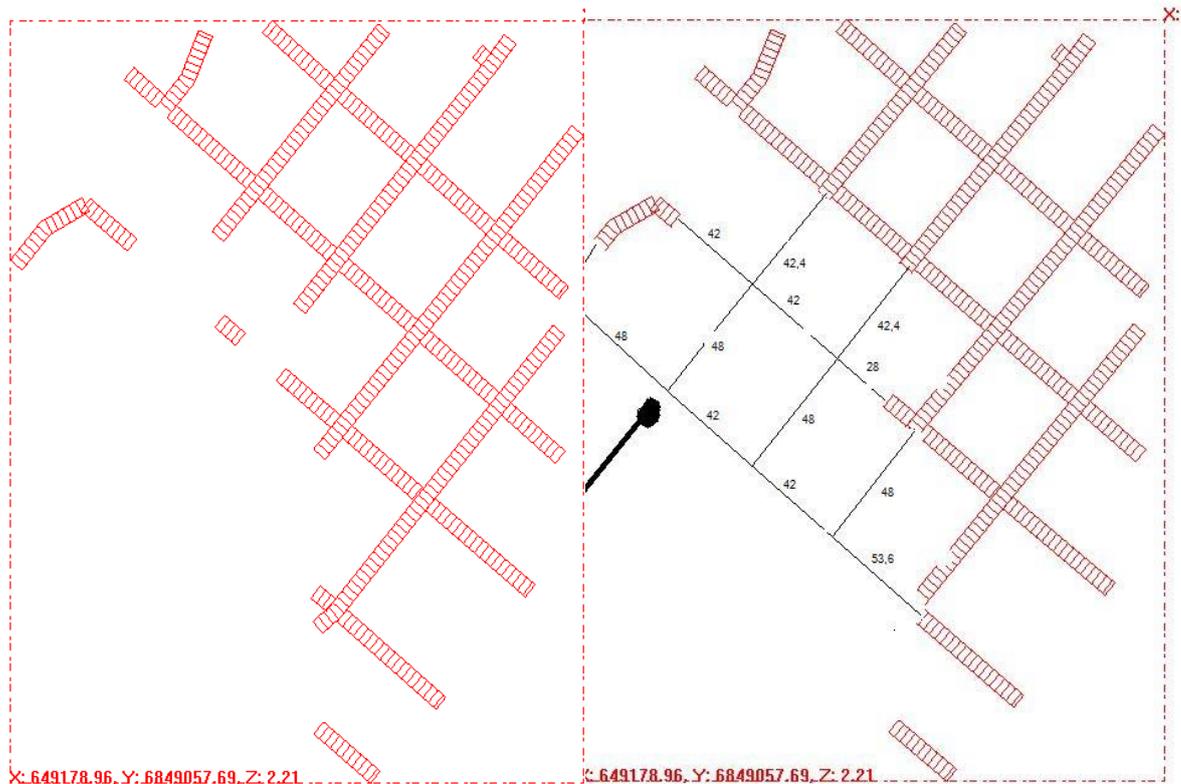
Com o sequenciamento usando Mine2-4D®, conforme figura 38, pode-se então, encontrar a distância ideal para o trabalho de duas LHDs com maior rendimento possível e se visualiza no sequenciamento do quinto dia, no caso do gráfico 1, demonstrado no quadro 4. Então, este resultado do valor de Distância Média de Transporte (DMT) ficou igual a 110,3m entre o alimentador e as frentes de serviço, executados cálculo com o uso o Studio 3® conforme a figura 39.

Figura 38- Sequenciamento com uso do Mine 2-4D.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 39- Distâncias de transporte no quinto dia do sequenciamento, sendo a figura da esquerda a configuração inicial e da direita a DMT no quinto dia.



Verifica-se que a mínima DMT para que duas máquinas trabalhem em conjunto sem que uma afete a outra, em questão de produtividade, é de 110 metros. Logo, conclui-se que se deve manter esta distância inicial entre o alimentador e as frentes de serviço, neste caso, para se obter máxima produtividade quando há mais de uma máquina envolvida no processo, pois conforme especificações técnicas temos as respectivas velocidades associadas às velocidades de transmissão para frente ou para trás:

- 1st gear 5.1 km/h (1,42 m/s)
- 2nd gear 10.3 km/h (2,86 m/s)
- 3rd gear 17.0 km/h (4,72 m/s)
- 4th gear 27.0 km/h (7.50 m/s)

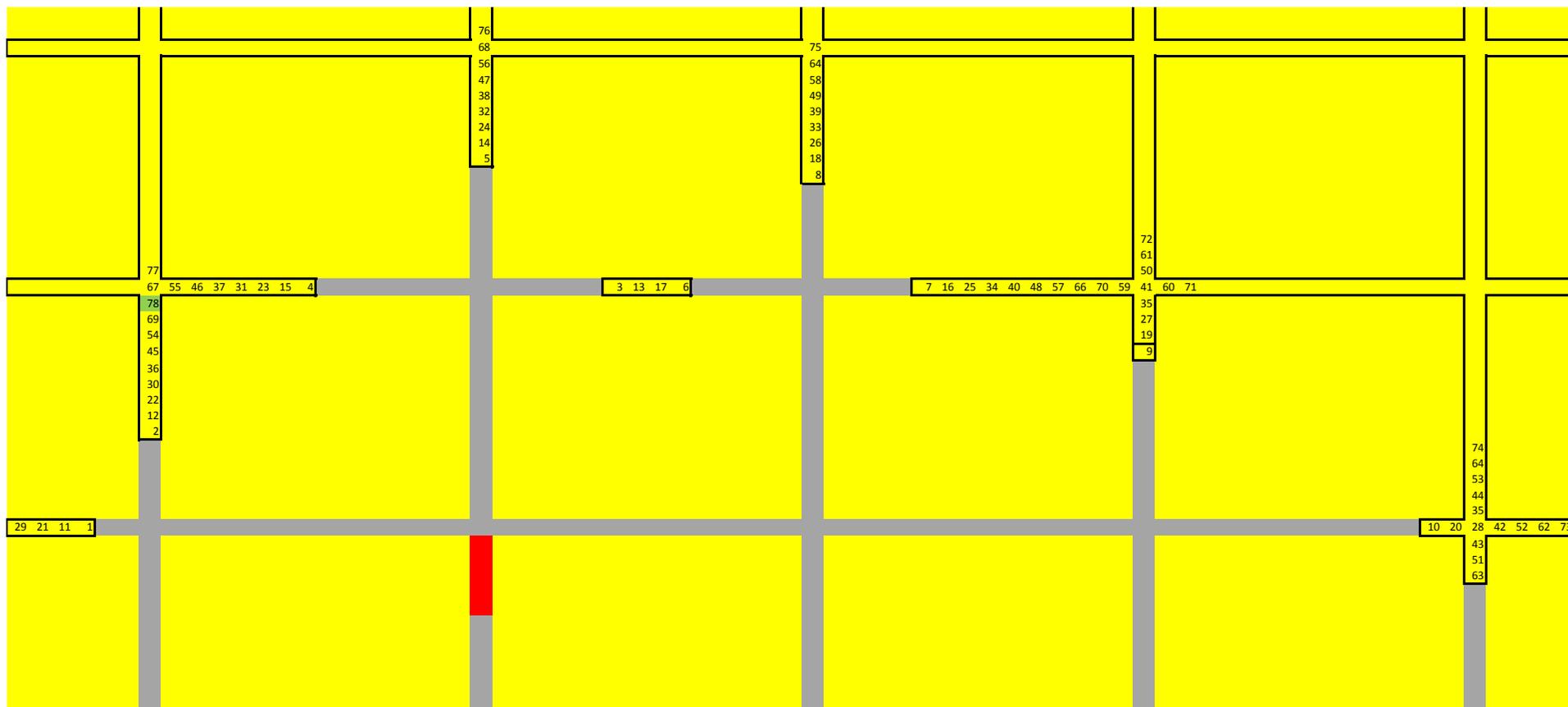
Estas máquinas dificilmente atingem o terceiro ou quarto ponto, o que restringe a uma velocidade máxima em aproximadamente 3 m/s, logo a uma DMT de 100 metros, se levaria aproximadamente 68 segundos de trânsito entre ida e volta da frente de serviço.

O tempo de descarga é em torno de 20 segundos e o tempo de carga em torno de 30 segundos incluindo as manobras. Consequentemente se houver uma sobreposição das duas máquinas com distâncias de transporte abaixo de certo valor, uma das máquinas há de aguardar a outra para completar seu ciclo.

Foi realizado o seqüenciamento da primeira etapa de avançamento, para um modelo real, do painel de lavra objeto deste estudo, que gerou um total de 776 iterações no anexo 1 com um total de 78 blocos numerados pelo seqüenciamento apresentado na figura 40. O painel conta com 5 galerias com o alimentador descentralizado, com pilares quadrados de 39 metros de lado.

É possível notar durante o processo de seqüenciamento, algumas vezes, que o número de frentes de serviço eram poucas, o que obrigava a se tomar somente uma direção para seqüenciamento, em vez de comparar diversas opções para o mesmo processo, trabalhando com um total de 06 etapas obrigatórias (equipamentos de lavra e desmonte de rocha), com isso, não existe neste modelo uma tendência das galerias que estão mais em frente ao alimentador avançarem muito mais que as demais galerias, deixando galerias de grande comprimento sem comunicação, o que traria problemas de ventilação.

Figura 40- Sequenciamento resultante em área de estudo, destacado o bloco em verde como bloco obrigatório, onde existe ao avanço do alimentador implicando em uma nova configuração de distâncias, e em vermelho a posição do alimentador.



Fonte: Autor 2015

Capítulo 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com este estudo, foi possível comprovar que existe uma influência direta da distância do alimentador e das frentes de serviço na capacidade produtiva de uma mina de carvão subterrânea pelo Método de Lavra Câmaras e Pilares. Assim como, comprovadamente, o número de frentes de lavra disponíveis é diretamente proporcional à capacidade produtiva e resultado econômico.

É possível concluir que, quanto mais próximo o alimentador estiver das frentes de serviço e quanto menor as distâncias entre frentes vizinhas, por conta das características operacionais do local minerado, maior a capacidade produtiva, neste caso em especial que as distâncias de transporte são gargalos de produção, respeitado o tempo da função da regressão alcançar o seu máximo, ou seja, manter a distância mínima de transporte para mais de uma máquina de produção envolvida no processo.

Assim para maior produtividade é necessário painéis com mais frentes de lavra disponíveis, com maiores possibilidades de pontos de descargas.

Com isso, foi possível desenvolver uma metodologia que proporcione a análise prévia da determinação do ponto ótimo para o avanço de um alimentador e a sua respectiva correia transportadora baseada na distância de transporte, a qual leva em consideração todos os parâmetros de decisão. Porém, ainda necessita de uma implantação computacional para análise de diversos cenários para simulação deste processo.

É possível com este estudo e por diversas plataformas de sequenciamento, chegar a conclusão que as variações dos gráficos com aumento e decréscimo da produção são reflexos diretos da iteração de máquinas e a não organização do sequenciamento adequado das frentes de serviço como etapas ordenadas.

Pode-se, também, utilizar este estudo para se buscar as características para o dimensionamento e aumento da frota, já que com o aumento do número de máquinas, não necessariamente aumentará a capacidade produtiva do painel de lavra, visto que para uma máquina, a capacidade produtiva é correlacionada por uma reta

inversamente proporcional à distância de transporte, enquanto para duas máquinas é uma curva que ainda necessita de estudos específicos. Existe um ponto de transição entre o uso de uma ou mais máquinas que pode ser identificado e utilizado como parâmetro para dimensionamento de frota. Recomenda-se o estudo da capacidade produtiva com a inserção de máquinas de produção (LHD), uma, duas e três máquinas, e de que forma isto afeta o resultado final da produção, e como utilizamos este padrão para dimensionamento da frota de transporte.

Este estudo aprofunda o conhecimento do ciclo produtivo, não como um tempo medido da máquina, mas como uma característica do local a ser minerado, sequenciando a mina, independente do modelo de equipamento, mas sim das etapas obrigatórias a serem cumpridas, porém é um estudo que deve ser aprofundado visto o pouco conhecimento a respeito deste aspecto relacionado para o estudo.

Recomenda-se para os próximos trabalhos a criação de um modelo computacional, que utilize os parâmetros deste estudo como base para um sequenciamento eficaz e que traga maior resultado produtivo e seja autônomo, sequenciando pelo método proposto e verificando os problemas associados.

Sugere-se, ainda, o estudo da correlação da qualidade do teto imediato e da lapa com a capacidade produtiva, porque se verificou que em locais com maior dificuldade operacional, a capacidade produtiva diminui por conta da qualidade do teto (escoramento mais demorado) e inclinação e qualidade da lapa (deslocamento e tracionamento das rodas). Podendo, assim, associar a produção a parâmetros geomecânicos do teto e da lapa (piso) de um painel de lavra.

Recomenda-se para os próximos trabalhos um estudo dos parâmetros de qualidade e tolerância do particulado diesel em gases emanados de equipamentos a diesel em mina subterrânea em comparação com a legislação no mundo, e recomendações para saúde do trabalhador.

REFERÊNCIAS

AMBROSE, Dean H. **Computer graphics simulations comparing reduced exposure mining equipment: shuttle cars versus continuous haulage systems**. Pittsburgh, PA : U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1994.

BECKETT, L. A. **LHDSIM - A Load-Haul-Dump Simulator For Room-And-Pillar Mining Operations** - Introduction.16th Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, Chapter 41 - Production Systems Simulation, 1979.

CHATTERJEE,P. K.; SCHECK D. E.; SRIDHAR, C. K. **Optimum Scheduling Of Room And Pillar Operations**. Society for Mining engineer Ohio University, Athena's 1986.

CHEN,P. Y.; POPOVICH, P.M. **Correlation: parametric and nonparametric measures**. Thousand Oaks: Sage Publication, Inc. 95p.

COSTA, J. F. **Avaliação de Recursos** de Carvão Mina Fontanella Carbonífera Metropolitana S.A. Relatório técnico. FLE - Fundação Luiz Englert; 2010.

DRAPER, Norman Richard. **Applied regression analysis**3rded. 1998.

FARMER, I. Room and Pillar mining. In: HARTMAN, H.L. (ed). **SME Mining Engineering Handbook**. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton: Colorado, 2nd ed.1992, p. 1681-1699

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**, Oxford University Press,1997 New York, 483 p.

HERRMANN, Curt. **Manual de perfuração de rocha**, 2. ed. rev. aum. São Paulo, Polígono, 1972.

HIRSHI, J.,C.A **Dynamic Programming Approach to Identifying Optimal Mining Sequences For Continuous Miner Coal Production System**; Southern Illinois University Carbondale, 2012.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, M.R. **An Introduction to Applied Geostatistics**, Oxford University Press, New York, 561 p.1989.

RAO, K.V. **The productive Potential of Diesel Load- Haul-Dump Equipment in Underground Coal Mines**. M.S. Paper, VPI e SU, Blacksburg, VA, 1973.

SINCLAIRA J.; BLACKWELL G. H. **Applied Mineral Inventory Estimation**, Cambridge University The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge, United Kingdom, 2004

STINNETEJ. D. **Establishing Total Airflow Requirements for Underground Metal/Non-Metal Mines** with Tier IV Diesel Equipment, Queen's University Kingston, Ontario, Canada May, 2013.

TIEN, J.C. Room and Pillar mining in Coal. In: **SME mining engineering handbook** edited by DARLING P. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton: Colorado 3rd ed. 2011. p. 1339-1346

JOHNSON.B. Heat, Humidity, and Air Conditioning. In: HARTMAN, H.L. (ed). **SME Mining Engineering Handbook**. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton: Colorado, 2 ed.1992.

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. A lavra de carvão e o meio ambiente em Santa Catarina. In: Paulo Sergio Moreira Soares; Maria Dionísia Costa dos Santos; Mario Valente Possa. (Org.). **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008, v. 1, p. 25-35.

Krog, R. B., R. H. Grau, III, T. P. Mucho and S. B. Robertson, "Ventilation Planning Layouts For Large-Opening Mines," Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, **SME Preprint** 2004, 04–187, pp. 1-9.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. Elsevier, 7º impressão, Rio de Janeiro. 2005 401 p.

O'HARA T. A.; STANLEY C. S. Costs and Costs Estimation. In: HARTMAN, H.L. (ed).**SME Mining Engineering Handbook**. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton :Colorado,2 ed.1992, p 405-424.

PEREIRA, S. P. et al. **Simulação de produção em mina subterrânea de carvão com uso de conjuntos mecanizados**. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. 2010, vol.63, n.3

BULLOCK R. L. Room and Pillar mining. In: **SME mining engineering handbook** edited by DARLING.P. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton: Colorado 3rd ed 2011. p. 1327-1338.

SANTOS, A.C. **Utilização do indicador de eficácia Global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura-** um estudo de caso, XII Encontro Nacional de engenheiros de produção (20--).

WHITE, I. C. **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil** . Rio de Janeiro : DNPM , 1988. Parte I, p.1-300 ; Parte II, p. 301-617. (ed. Fac - similar), 1908.

YINGLING J. C. Cycles And Systems. In: HARTMAN, H.L. (ed). **SME Mining Engineering Handbook**. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton: Colorado,2nd ed.1992,p. 783-805

BRASIL. Ministério do trabalho. **Norma regulamentadora 22**. Publicação D. O. U. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 06/07/78, Atualizações/Alterações D. O. U. Portaria GM n.º 2.037, de 15 de dezembro de 1999 20/12/99, Portaria SIT n.º 33, de 26 de dezembro de 2000, 27/12/00 Portaria SIT n.º 27, de 01 de outubro de 2002 03/10/02, Portaria SIT n.º 63, de 02 de dezembro de 2003 04/12/03, Portaria SIT n.º 70,

de 12 de março de 2004 17/03/04, Portaria SIT n.º 202, de 26 de janeiro de 2011 27/01/11.

BRASIL. Ministério das minas e energia. Departamento nacional de produção mineral (DNPM). **Norma regulamentadora de mineração 06**. DOU 20/01/2015.

CAT ROOM AND PILLAR SOLUTIONS; Disponível em: <http://advanced-mining.com/artikel.php?id=241>]; Acesso em: 21/09/2014

JOY® ENTRY DEVELOPMENT SYSTEM; Disponível em: <http://player.mashpedia.com/player.php?q=zwqIJ42ECpY>]; Acesso em: 21/09/2014

CARBONÍFERA METROPOLITANA; Disponível em:

<http://www.carboniferametropolitana.com.br/mineracao/metodos>] Acesso em: 23/04/2015

CPRM - Serviço Geológico do Brasil; Disponível em: http://www.cprm.gov.br/geocoturismo/coluna_white/referencias.html] Acesso em: 23/04/2015

Anexo 1

PRIMEIRA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	58.8	D12	25.2	84	1	0	1
d1	58.8	D13	120.4	179.2	1	0	
d1	58.8	D14	120.4	179.2	1	0	
d1	58.8	D15	114.8	173.6	1	0	
d1	58.8	D16	159.6	218.4	1	0	
d1	58.8	D17	162.4	221.2	1	0	
d1	58.8	D18	156.8	215.6	1	0	
d2	67.2	D23	128.8	196	1	1	
d2	67.2	D24	131.6	198.8	1	1	
d2	67.2	D25	123.2	190.4	1	1	2
d2	67.2	D26	168	235.2	1	1	
d3	70	D31	120.4	190.4	1	1	
d3	70	D32	128.8	198.8	1	1	
d3	70	D34	44.8	114.8	1	1	4
d3	70	D35	39.2	109.2	1	1	
d3	70	D36	170.8	240.8	1	1	
d4	70	D41	120.4	190.4	1	0	
d4	70	D42	131.6	201.6	1	0	
d4	70	D43	44.8	114.8	1	0	
d4	70	D45	39.2	109.2	1	0	
d4	70	D46	126	196	1	0	5
d4	70	D47	179.2	249.2	1	0	
d4	70	D48	168	238	1	0	
d5	64.4	D51	114.8	179.2	1	1	
d5	64.4	D52	123.2	187.6	1	1	
d5	64.4	D53	39.2	103.6	1	1	3
d5	64.4	D54	39.2	103.6	1	1	
d5	64.4	D56	168	232.4	1	1	
d5	64.4	D57	170.8	235.2	1	1	
d5	64.4	D58	165.2	229.6	1	1	
d5	64.4	D59	182	246.4	1	1	
d5	64.4	D510	187.6	252	1	1	
d6	72.8	D61	159.6	232.4	1	2	
d6	72.8	D62	168	240.8	1	2	
d6	72.8	D63	170.8	243.6	1	2	
d6	72.8	D64	126	198.8	1	2	
d6	72.8	D65	168	240.8	1	2	
d6	72.8	D67	36.4	109.2	1	2	
d6	72.8	D68	30.8	103.6	1	2	6
d6	72.8	D69	140	212.8	1	2	

d6	72.8	D610	145.6	218.4	1	2	
d7	114.8	D71	156.8	271.6	1	1	
d7	114.8	D72	148.4	263.2	1	1	
d7	114.8	D73	176.4	291.2	1	1	
d7	114.8	D74	176.4	291.2	1	1	
d7	114.8	D75	170.8	285.6	1	1	
d7	114.8	D76	36.4	151.2	1	1	
d7	114.8	D78	33.6	148.4	1	1	
d7	114.8	D79	140	254.8	1	1	
d7	114.8	D710	145.6	260.4	1	1	
d8	109.2	D81	156.8	266	1	2	
d8	109.2	D82	148.4	257.6	1	2	
d8	109.2	D83	176.4	285.6	1	2	
d8	109.2	D84	176.4	285.6	1	2	
d8	109.2	D85	170.8	280	1	2	
d8	109.2	D86	36.4	145.6	1	2	
d8	109.2	D87	33.6	142.8	1	2	7
d8	109.2	D89	140	249.2	1	2	
d8	109.2	D810	145.6	254.8	1	2	
d9	126	D91	173.6	299.6	1	1	
d9	126	D92	182	308	1	1	
d9	126	D93	187.6	313.6	1	1	
d9	126	D94	187.6	313.6	1	1	
d9	126	D95	182	308	1	1	
d9	126	D96	134.4	260.4	1	1	
d9	126	D97	137.2	263.2	1	1	
d9	126	D98	131.6	257.6	1	1	
d9	126	D910	67.2	193.2	1	1	
d10	131.6	D101	179.2	310.8	1	1	
d10	131.6	D102	170.8	302.4	1	1	
d10	131.6	D103	184.8	316.4	1	1	
d10	131.6	D104	184.8	316.4	1	1	
d10	131.6	D105	179.2	310.8	1	1	
d10	131.6	D106	145.6	277.2	1	1	
d10	131.6	D107	145.6	277.2	1	1	
d10	131.6	D108	145.6	277.2	1	1	
d10	131.6	D109	67.2	198.8	1	1	
d9	126	D96	137.2	263.2	1	1	
d9	126	D97	142.8	268.8	1	1	
d9	126	D98	137.2	263.2	1	1	
d9	126	D910	67.2	193.2	1	1	
d10	131.6	D101	182	313.6	1	1	
d10	131.6	D102	190.4	322	1	1	
d10	131.6	D103	196	327.6	1	1	
d10	131.6	D104	196	327.6	1	1	
d10	131.6	D105	190.4	322	1	1	

d10	131.6	D106	142.8	274.4	1	1	
d10	131.6	D107	148.4	280	1	1	
d10	131.6	D108	142.8	274.4	1	1	
d10	131.6	D109	67.2	198.8	1	1	

Observações: Em vermelho são as células ocupadas por operações unitárias. Em amarelo a célula escolhida. Em Cinza as células já escolhidas.

SEGUNDA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	61.6	D12	30.8	92.4	1	0	11
d1	61.6	D13	126	187.6	1	0	
d1	61.6	D14	126	187.6	1	0	
d1	61.6	D15	120.4	182	1	0	
d1	61.6	D16	165.2	226.8	1	0	
d1	61.6	D17	168	229.6	1	0	
d1	61.6	D18	162.4	224	1	0	
d1	61.6	D19	176.4	238	1	0	
d1	61.6	D110	182	243.6	1	0	
d2	70	D21	30.8	100.8	1	1	
d2	70	D23	134.4	204.4	1	1	
d2	70	D24	134.4	204.4	1	1	
d2	70	D25	128.8	198.8	1	1	12
d2	70	D26	173.6	243.6	1	1	
d2	70	D27	176.4	246.4	1	1	
d2	70	D28	170.8	240.8	1	1	
d2	70	D29	184.8	254.8	1	1	
d2	70	D210	190.4	260.4	1	1	
d3	72.8	D31	126	198.8	1	1	
d3	72.8	D32	134.4	207.2	1	1	
d3	72.8	D34	50.4	123.2	1	1	
d3	72.8	D35	44.8	117.6	1	1	
d3	72.8	D36	179.2	252	1	1	
d3	72.8	D37	182	254.8	1	1	
d3	72.8	D38	176.4	249.2	1	1	15
d3	72.8	D39	190.4	263.2	1	1	
d3	72.8	D310	196	268.8	1	1	
d4	72.8	D41	126	198.8	1	0	
d4	72.8	D42	134.4	207.2	1	0	
d4	72.8	D43	50.4	123.2	1	0	14
d4	72.8	D45	44.8	117.6	1	0	
d4	72.8	D46	179.2	252	1	0	
d4	72.8	D47	182	254.8	1	0	
d4	72.8	D48	176.4	249.2	1	0	
d4	72.8	D49	190.4	263.2	1	0	
d4	72.8	D410	196	268.8	1	0	
d5	67.2	D51	120.4	187.6	1	1	
d5	67.2	D52	128.8	196	1	1	
d5	67.2	D53	44.8	112	1	1	
d5	67.2	D54	44.8	112	1	1	13

d5	67.2	D56	173.6	240.8	1	1	
d5	67.2	D57	176.4	243.6	1	1	
d5	67.2	D58	170.8	238	1	1	
d5	67.2	D59	184.8	252	1	1	
d5	67.2	D510	190.4	257.6	1	1	
d6	70	D61	165.2	235.2	1	2	
d6	70	D62	173.6	243.6	1	2	
d6	70	D63	179.2	249.2	1	2	
d6	70	D64	179.2	249.2	1	2	
d6	70	D65	173.6	243.6	1	2	
d6	70	D67	42	112	1	2	17
d6	70	D68	36.4	106.4	1	2	
d6	70	D69	137.2	207.2	1	2	
d6	70	D610	142.8	212.8	1	2	
d7	117.6	D71	168	285.6	1	1	
d7	117.6	D72	176.4	294	1	1	
d7	117.6	D73	182	299.6	1	1	
d7	117.6	D74	182	299.6	1	1	
d7	117.6	D75	176.4	294	1	1	
d7	117.6	D76	42	159.6	1	1	
d7	117.6	D78	39.2	156.8	1	1	
d7	117.6	D79	142.8	260.4	1	1	8
d7	117.6	D710	148.4	266	1	1	
d8	112	D81	162.4	274.4	1	2	
d8	112	D82	170.8	282.8	1	2	
d8	112	D83	176.4	288.4	1	2	
d8	112	D84	176.4	288.4	1	2	
d8	112	D85	170.8	282.8	1	2	
d8	112	D86	36.4	148.4	1	2	16
d8	112	D87	39.2	151.2	1	2	
d8	112	D89	137.2	249.2	1	2	
d8	112	D810	142.8	254.8	1	2	
d9	126	D91	176.4	302.4	1	1	
d9	126	D92	184.8	310.8	1	1	
d9	126	D93	190.4	316.4	1	1	
d9	126	D94	190.4	316.4	1	1	
d9	126	D95	184.8	310.8	1	1	
d9	126	D96	137.2	263.2	1	1	
d9	126	D97	142.8	268.8	1	1	
d9	126	D98	137.2	263.2	1	1	
d9	126	D910	67.2	193.2	1	1	9
d10	0	D101	182	182	1	1	10
d10	0	D102	190.4	190.4	1	1	
d10	0	D103	196	196	1	1	
d10	0	D104	196	196	1	1	
d10	0	D105	190.4	190.4	1	1	

d10	0	D106	142.8	142.8	1	1	
d10	0	D107	148.4	148.4	1	1	
d10	0	D108	142.8	142.8	1	1	
d10	0	D109	67.2	67.2	1	1	

TERCEIRA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	64.4	D12	36.4	100.8	1	0	21
d1	64.4	D13	162.4	226.8	1	0	
d1	64.4	D14	162.4	226.8	1	0	
d1	64.4	D15	173.6	238	1	0	
d1	64.4	D16	168	232.4	1	0	
d1	64.4	D17	182	246.4	1	0	
d1	64.4	D18	187.6	252	1	0	
d1		D19		0	1	0	
d1		D110		0	1	0	
d2	72.8	D21	36.4	109.2	1	1	
d2	72.8	D23	140	212.8	1	1	22
d2	72.8	D24	140	212.8	1	1	
d2	72.8	D25	182	254.8	1	1	
d2	72.8	D26	176.4	249.2	1	1	
d2	72.8	D27	190.4	263.2	1	1	
d2	72.8	D28	187.6	260.4	1	1	
d2		D29		0	1	1	
d2		D210		0	1	1	
d3	75.6	D31	162.4	238	1	1	
d3	75.6	D32	140	215.6	1	1	
d3	75.6	D34	56	131.6	1	1	23
d3	75.6	D35	98	173.6	1	1	
d3	75.6	D36	92.4	168	1	1	
d3	75.6	D37	196	271.6	1	1	
d3	75.6	D38	201.6	277.2	1	1	
d3		D39		0	1	1	
d3		D310		0	1	1	
d4	75.6	D41	162.4	238	1	0	
d4	75.6	D42	140	215.6	1	0	
d4	75.6	D43	56	131.6	1	0	
d4	75.6	D45	98	173.6	1	0	
d4	75.6	D46	92.4	168	1	0	24
d4	75.6	D47	196	271.6	1	0	
d4	75.6	D48	201.6	277.2	1	0	
d4		D49		0	1	0	
d4		D410		0	1	0	
d5	120.4	D51	173.6	294	1	1	
d5	120.4	D52	182	302.4	1	1	

d5	120.4	D53	98	218.4	1	1	
d5	120.4	D54	98	218.4	1	1	
d5	120.4	D56	44.8	165.2	1	1	
d5	120.4	D57	148.4	268.8	1	1	18
d5	120.4	D58	154	274.4	1	1	
d5		D59		0	1	1	
d5		D510		0	1	1	
d6	114.8	D61	168	282.8	1	2	
d6	114.8	D62	176.4	291.2	1	2	
d6	114.8	D63	92.4	207.2	1	2	
d6	114.8	D64	92.4	207.2	1	2	
d6	114.8	D65	44.8	159.6	1	2	25
d6	114.8	D67	142.8	257.6	1	2	
d6	114.8	D68	148.4	263.2	1	2	
d6		D69		0	1	2	
d6		D610		0	1	2	
d7	128.8	D71	182	310.8	1	1	
d7	128.8	D72	190.4	319.2	1	1	
d7	128.8	D73	196	324.8	1	1	
d7	128.8	D74	196	324.8	1	1	
d7	128.8	D75	148.4	277.2	1	1	
d7	128.8	D76	142.8	271.6	1	1	
d7	128.8	D78	72.8	201.6	1	1	19
d7		D79		0	1	1	
d7		D710		0	1	1	
d8	134.4	D81	187.6	322	1	2	20
d8	134.4	D82	187.6	322	1	2	
d8	134.4	D83	201.6	336	1	2	
d8	134.4	D84	201.6	336	1	2	
d8	134.4	D85	154	288.4	1	2	
d8	134.4	D86	148.4	282.8	1	2	
d8	134.4	D87	72.8	207.2	1	2	
d8		D89		0	1	2	
d8		D810		0	1	2	

QUARTA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	67.2	D12	42	109.2	1	0	29
d1	67.2	D13	137.2	204.4	1	0	
d1	67.2	D14	137.2	204.4	1	0	
d1	67.2	D15	179.2	246.4	1	0	
d1	67.2	D16	182	249.2	1	0	
d1	67.2	D17	187.6	254.8	1	0	
d1	67.2	D18	193.2	260.4	1	0	
d1		D19		0	1	0	
d1		D110		0	1	0	
d2	75.6	D21	42	117.6	1	1	
d2	75.6	D23	145.6	221.2	1	1	30
d2	75.6	D24	145.6	221.2	1	1	
d2	75.6	D25	190.4	266	1	1	
d2	75.6	D26	184.8	260.4	1	1	
d2	75.6	D27	196	271.6	1	1	
d2	75.6	D28	201.6	277.2	1	1	
d2		D29		0	1	1	
d2		D210		0	1	1	
d3	78.4	D31	137.2	215.6	1	1	
d3	78.4	D32	145.6	224	1	1	
d3	78.4	D34	61.6	140	1	1	31
d3	78.4	D35	103.6	182	1	1	
d3	78.4	D36	98	176.4	1	1	
d3	78.4	D37	156.8	235.2	1	1	
d3	78.4	D38	162.4	240.8	1	1	
d3		D39		0	1	1	
d3		D310		0	1	1	
d4	78.4	D41	137.2	215.6	1	0	
d4	78.4	D42	145.6	224	1	0	
d4	78.4	D43	61.6	140	1	0	
d4	78.4	D45	103.6	182	1	0	
d4	78.4	D46	98	176.4	1	0	32
d4	78.4	D47	201.6	280	1	0	
d4	78.4	D48	207.2	285.6	1	0	
d4		D49		0	1	0	
d4		D410		0	1	0	
d5	123.2	D51	179.2	302.4	1	1	
d5	123.2	D52	190.4	313.6	1	1	
d5	123.2	D53	103.6	226.8	1	1	
d5	123.2	D54	103.6	226.8	1	1	
d5	123.2	D56	50.4	173.6	1	1	33

d5	123.2	D57	154	277.2	1	1	26
d5	123.2	D58	159.6	282.8	1	1	
d5		D59		0	1	1	
d5		D510		0	1	1	
d6	117.6	D61	182	299.6	1	2	
d6	117.6	D62	184.8	302.4	1	2	
d6	117.6	D63	98	215.6	1	2	
d6	117.6	D64	98	215.6	1	2	
d6	117.6	D65	50.4	168	1	2	
d6	117.6	D67	148.4	266	1	2	34
d6	117.6	D68	154	271.6	1	2	
d6		D69		0	1	2	
d6		D610		0	1	2	
d7	131.6	D71	187.6	319.2	1	1	
d7	131.6	D72	196	327.6	1	1	
d7	131.6	D73	156.8	288.4	1	1	
d7	131.6	D74	201.6	333.2	1	1	
d7	131.6	D75	154	285.6	1	1	
d7	131.6	D76	148.4	280	1	1	
d7	131.6	D78	78.4	210	1	1	27
d7		D79		0	1	1	
d7		D710		0	1	1	
d8	142.8	D81	193.2	336	1	2	28
d8	142.8	D82	201.6	344.4	1	2	
d8	142.8	D83	162.4	305.2	1	2	
d8	142.8	D84	207.2	350	1	2	
d8	142.8	D85	159.6	302.4	1	2	
d8	142.8	D86	154	296.8	1	2	
d8	142.8	D87	78.4	221.2	1	2	
d8		D89		0	1	2	
d8		D810		0	1	2	

QUINTA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	78.4	D12	151.2	229.6	1	1	37
d1	78.4	D13	151.2	229.6	1	1	
d1	78.4	D14	193.2	271.6	1	1	
d1	78.4	D15	201.6	280	1	1	
d1	78.4	D16	201.6	280	1	1	
d1	78.4	D17	210	288.4	1	1	
d1		D18		0			
d1		D19		0			
d1		D110		0			
d2	81.2	D21	151.2	232.4	1	1	
d2	81.2	D23	67.2	148.4	1	1	38
d2	81.2	D24	109.2	190.4	1	1	
d2	81.2	D25	100.8	182	1	1	
d2	81.2	D26	207.2	288.4	1	1	
d2	81.2	D27	215.6	296.8	1	1	
d2		D28		0			
d2		D29		0			
d2		D210		0			
d3	81.2	D31	151.2	232.4	0	1	
d3	81.2	D32	67.2	148.4	0	1	
d3	81.2	D34	109.2	190.4	0	1	39
d3	81.2	D35	100.8	182	0	1	
d3	81.2	D36	159.6	240.8	0	1	
d3	81.2	D37	168	249.2	0	1	
d3		D38		0			
d3		D39		0			
d3		D310		0			
d4	126	D41	193.2	319.2	1	1	
d4	126	D42	109.2	235.2	1	1	
d4	126	D43	109.2	235.2	1	1	
d4	126	D45	207.2	333.2	1	1	40
d4	126	D46	159.6	285.6	1	1	
d4	126	D47	168	294	1	1	
d4		D48		0			
d4		D49		0			
d4		D410		0			
d5	117.6	D51	201.6	319.2	1	2	
d5	117.6	D52	100.8	218.4	1	2	
d5	117.6	D53	100.8	218.4	1	2	
d5	117.6	D54	207.2	324.8	1	2	
d5	117.6	D56	151.2	268.8	1	2	41

d5	117.6	D57	159.6	277.2	1	2	
d5		D58		0			
d5		D59		0			
d5		D510		0			
d6	134.4	D61	201.6	336	1	1	
d6	134.4	D62	207.2	341.6	1	1	
d6	134.4	D63	159.6	294	1	1	
d6	134.4	D64	159.6	294	1	1	
d6	134.4	D65	151.2	285.6	1	1	
d6	134.4	D67	86.8	221.2	1	1	35
d6		D68		0			
d6		D69		0			
d6		D610		0			
d7	145.6	D71	210	355.6	3	0	36
d7	145.6	D72	215.6	361.2	3	0	
d7	145.6	D73	168	313.6	3	0	
d7	145.6	D74	168	313.6	3	0	
d7	145.6	D75	159.6	305.2	3	0	
d7	145.6	D76	86.8	232.4	3	0	
d7		D78		0			
d7		D79		0			
d7		D710		0			

SEXTA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	81.2	D12	156.8	238	1	1	46
d1	81.2	D13	156.8	238	1	1	
d1	81.2	D14	198.8	280	1	1	
d1	81.2	D15	190.4	271.6	1	1	
d1	81.2	D16	207.2	288.4	1	1	
d1	81.2	D17	196	277.2	1	1	
d1	81.2	D18	198.8	280	1	1	
d1	81.2	D19	198.8	280	1	1	
d1		D110		0			
d2	84	D21	156.8	240.8	1	1	
d2	84	D23	72.8	156.8	1	1	47
d2	84	D24	114.8	198.8	1	1	
d2	84	D25	106.4	190.4	1	1	
d2	84	D26	212.8	296.8	1	1	
d2	84	D27	224	308	1	1	
d2	84	D28	221.2	305.2	1	1	
d2	84	D29	221.2	305.2	1	1	
d2		D210		0			
d3	84	D31	156.8	240.8	0	1	
d3	84	D32	72.8	156.8	0	1	
d3	84	D34	114.8	198.8	0	1	
d3	84	D35	106.4	190.4	0	1	48
d3	84	D36	212.8	296.8	0	1	
d3	84	D37	224	308	0	1	
d3	84	D38	221.2	305.2	0	1	
d3	84	D39	221.2	305.2	0	1	
d3		D310		0			
d4	128.8	D41	198.8	327.6	1	1	
d4	128.8	D42	114.8	243.6	1	1	
d4	128.8	D43	114.8	243.6	1	1	
d4	128.8	D45	56	184.8	1	1	
d4	128.8	D46	165.2	294	1	1	50
d4	128.8	D47	176.4	305.2	1	1	
d4	128.8	D48	173.6	302.4	1	1	
d4	128.8	D49	173.6	302.4	1	1	
d4		D410		0			
d5	120.4	D51	190.4	310.8	1	2	
d5	120.4	D52	106.4	226.8	1	2	
d5	120.4	D53	106.4	226.8	1	2	
d5	120.4	D54	56	176.4	1	2	49
d5	120.4	D56	156.8	277.2	1	2	

d5	120.4	D57	165.2	285.6	1	2	
d5	120.4	D58	162.4	282.8	1	2	
d5	120.4	D59	162.4	282.8	1	2	
d5		D510		0			
d6	140	D61	207.2	347.2	3	1	
d6	140	D62	212.8	352.8	3	1	
d6	140	D63	212.8	352.8	3	1	
d6	140	D64	165.2	305.2	3	1	
d6	140	D65	156.8	296.8	3	1	
d6	140	D67	92.4	232.4	3	1	
d6	140	D68	89.6	229.6	3	1	42
d6	140	D69	89.6	229.6	3	1	
d6		D610		0			
d7	148.4	D71	196	344.4	1	1	45
d7	148.4	D72	224	372.4	1	1	
d7	148.4	D73	224	372.4	1	1	
d7	148.4	D74	176.4	324.8	1	1	
d7	148.4	D75	165.2	313.6	1	1	
d7	148.4	D76	92.4	240.8	1	1	
d7	148.4	D78	5.6	154	1	1	
d7	148.4	D79	5.6	154	1	1	
d7		D710		0			
d8	145.6	D81	198.8	344.4	1	0	
d8	145.6	D82	221.2	366.8	1	0	
d8	145.6	D83	221.2	366.8	1	0	
d8	145.6	D84	173.6	319.2	1	0	
d8	145.6	D85	162.4	308	1	0	
d8	145.6	D86	89.6	235.2	1	0	
d8	145.6	D87	5.6	151.2	1	0	
d8	145.6	D89	2.8	148.4	1	0	43
d8	145.6	D810		145.6			
d9	145.6	D91	198.8	344.4	1	0	
d9	145.6	D92	221.2	366.8	1	0	
d9	145.6	D93	221.2	366.8	1	0	
d9	145.6	D94	173.6	319.2	1	0	
d9	145.6	D95	162.4	308	1	0	
d9	145.6	D96	89.6	235.2	1	0	
d9	145.6	D97	5.6	151.2	1	0	44
d9	145.6	D98	2.8	148.4	1	0	
d9	145.6	D910		145.6			

SETIMA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	84	D12	162.4	246.4	1	1	55
d1	84	D13	162.4	246.4	1	1	
d1	84	D14	204.4	288.4	1	1	
d1	84	D15	196	280	1	1	
d1	84	D16	215.6	299.6	1	1	
d1	84	D17	221.2	305.2	1	1	
d1	84	D18	218.4	302.4	1	1	
d1	84	D19	218.4	302.4	1	1	
d1		D110		0			
d2	86.8	D21	162.4	249.2	1	1	
d2	86.8	D23	78.4	165.2	1	1	56
d2	86.8	D24	120.4	207.2	1	1	
d2	86.8	D25	112	198.8	1	1	
d2	86.8	D26	221.2	308	1	1	
d2	86.8	D27	226.8	313.6	1	1	
d2	86.8	D28	224	310.8	1	1	
d2	86.8	D29	224	310.8	1	1	
d2		D210		0			
d3	86.8	D31	162.4	249.2	0	1	
d3	86.8	D32	78.4	165.2	0	1	
d3	86.8	D34	117.6	204.4	0	1	
d3	86.8	D35	109.2	196	0	1	57
d3	86.8	D36	221.2	308	0	1	
d3	86.8	D37	226.8	313.6	0	1	
d3	86.8	D38	224	310.8	0	1	
d3	86.8	D39	224	310.8	0	1	
d3		D310		0			
d4	131.6	D41	204.4	336	1	1	
d4	131.6	D42	120.4	252	1	1	
d4	131.6	D43	117.6	249.2	1	1	
d4	131.6	D45	64.4	196	1	1	
d4	131.6	D46	173.6	305.2	1	1	59
d4	131.6	D47	179.2	310.8	1	1	
d4	131.6	D48	176.4	308	1	1	
d4	131.6	D49	176.4	308	1	1	
d4		D410		0			
d5	123.2	D51	196	319.2	1	2	
d5	123.2	D52	112	235.2	1	2	
d5	123.2	D53	109.2	232.4	1	2	
d5	123.2	D54	64.4	187.6	1	2	58

d5	123.2	D56	165.2	288.4	1	2	
d5	123.2	D57	173.6	296.8	1	2	
d5	123.2	D58	170.8	294	1	2	
d5	123.2	D59	170.8	294	1	2	
d5		D510		0			
d6	142.8	D61	215.6	358.4	3	1	
d6	142.8	D62	221.2	364	3	1	
d6	142.8	D63	221.2	364	3	1	
d6	142.8	D64	173.6	316.4	3	1	
d6	142.8	D65	165.2	308	3	1	
d6	142.8	D67	98	240.8	3	1	
d6	142.8	D68	95.2	238	3	1	
d6	142.8	D69	95.2	238	3	1	51
d6		D610		0			
d7	151.2	D71	221.2	372.4	1	1	54
d7	151.2	D72	226.8	378	1	1	
d7	151.2	D73	226.8	378	1	1	
d7	151.2	D74	179.2	330.4	1	1	
d7	151.2	D75	173.6	324.8	1	1	
d7	151.2	D76	98	249.2	1	1	
d7	151.2	D78	14	165.2	1	1	
d7	151.2	D79	14	165.2	1	1	
d7		D710		0			
d8	148.4	D81	218.4	366.8	1	1	
d8	148.4	D82	224	372.4	1	1	
d8	148.4	D83	224	372.4	1	1	
d8	148.4	D84	176.4	324.8	1	1	
d8	148.4	D85	170.8	319.2	1	1	
d8	148.4	D86	95.2	243.6	1	1	
d8	148.4	D87	14	162.4	1	1	53
d8	148.4	D89	11.2	159.6	1	1	
d8	148.4	D810		148.4			
d9	148.4	D91	218.4	366.8	1	1	
d9	148.4	D92	224	372.4	1	1	
d9	148.4	D93	224	372.4	1	1	
d9	148.4	D94	176.4	324.8	1	1	
d9	148.4	D95	170.8	319.2	1	1	
d9	148.4	D96	95.2	243.6	1	1	
d9	148.4	D97	14	162.4	1	1	
d9	148.4	D98	11.2	159.6	1	1	52
d9	148.4	D910		148.4			

OITAVA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	86.8	D12	168	254.8	1	1	
d1	86.8	D13	210	296.8	1	1	
d1	86.8	D14	210	296.8	1	1	
d1	86.8	D15	204.4	291.2	1	1	
d1	86.8	D16	221.2	308	1	1	
d1	86.8	D17	221.2	308	1	1	
d1	86.8	D18	218.4	305.2	1	1	
d1	86.8	D19	229.6	316.4	1	1	
d1	86.8	D110	226.8	313.6	1	1	
d1	86.8	D111	226.8	313.6	1	1	
d2	95.2	D21	168	263.2	3	1	
d2	95.2	D23	84	179.2	3	1	68
d2	95.2	D24	126	221.2	3	1	
d2	95.2	D25	120.4	215.6	3	1	
d2	95.2	D26	226.8	322	3	1	
d2	95.2	D27	226.8	322	3	1	
d2	95.2	D28	224	319.2	3	1	
d2	95.2	D29	232.4	327.6	3	1	
d2	95.2	D210	229.6	324.8	3	1	
d2	95.2	D211	229.6	324.8	3	1	
d3	92.4	D31	210	302.4	3	0	69
d3	92.4	D32	84	176.4	3	0	
d3	92.4	D34	126	218.4	3	0	
d3	92.4	D35	120.4	212.8	3	0	
d3	92.4	D36	226.8	319.2	3	0	
d3	92.4	D37	226.8	319.2	3	0	
d3	92.4	D38	224	316.4	3	0	
d3	92.4	D39	232.4	324.8	3	0	
d3	92.4	D310	229.6	322	3	0	
d3	92.4	D311	229.6	322	3	0	
d4	134.4	D41	210	344.4	1	1	
d4	134.4	D42	126	260.4	1	1	
d4	134.4	D43	126	260.4	1	1	
d4	134.4	D45	72.8	207.2	1	1	66
d4	134.4	D46	179.2	313.6	1	1	
d4	134.4	D47	179.2	313.6	1	1	
d4	134.4	D48	176.4	310.8	1	1	
d4	134.4	D49	184.8	319.2	1	1	
d4	134.4	D410	182	316.4	1	1	

d4	134.4	D411	182	316.4	1	1	
d5	128.8	D51	204.4	333.2	1	2	
d5	128.8	D52	120.4	249.2	1	2	67
d5	128.8	D53	120.4	249.2	1	2	
d5	128.8	D54	72.8	201.6	1	2	
d5	128.8	D56	173.6	302.4	1	2	
d5	128.8	D57	173.6	302.4	1	2	
d5	128.8	D58	170.8	299.6	1	2	
d5	128.8	D59	179.2	308	1	2	
d5	128.8	D510	176.4	305.2	1	2	
d5	128.8	D511	176.4	305.2	1	2	
d6	131.6	D61	221.2	352.8	1	2	
d6	131.6	D62	226.8	358.4	1	2	
d6	131.6	D63	226.8	358.4	1	2	
d6	131.6	D64	179.2	310.8	1	2	
d6	131.6	D65	173.6	305.2	1	2	
d6	131.6	D67	11.2	142.8	1	2	
d6	131.6	D68	8.4	140	1	2	60
d6	131.6	D69	109.2	240.8	1	2	
d6	131.6	D610	106.4	238	1	2	
d6	131.6	D611	106.4	238	1	2	
d7	145.6	D71	221.2	366.8	1	1	
d7	145.6	D72	226.8	372.4	1	1	
d7	145.6	D73	226.8	372.4	1	1	
d7	145.6	D74	179.2	324.8	1	1	
d7	145.6	D75	173.6	319.2	1	1	
d7	145.6	D76	11.2	156.8	1	1	
d7	145.6	D78	8.4	154	1	1	
d7	145.6	D79	106.4	252	1	1	
d7	145.6	D710	103.6	249.2	1	1	62
d7	145.6	D711	103.6	249.2	1	1	
d8	142.8	D81	218.4	361.2	1	1	
d8	142.8	D82	224	366.8	1	1	
d8	142.8	D83	224	366.8	1	1	
d8	142.8	D84	176.4	319.2	1	1	
d8	142.8	D85	170.8	313.6	1	1	
d8	142.8	D86	8.4	151.2	1	1	
d8	142.8	D87	8.4	151.2	1	1	61
d8	142.8	D89	103.6	246.4	1	1	
d8	142.8	D810	100.8	243.6	1	1	
d8	142.8	D811	100.8	243.6	1	1	
d9	154	D91	229.6	383.6	1	1	
d9	154	D92	232.4	386.4	1	1	
d9	154	D93	232.4	386.4	1	1	
d9	154	D94	184.8	338.8	1	1	65
d9	154	D95	179.2	333.2	1	1	

d9	154	D96	109.2	263.2	1	1	
d9	154	D97	106.4	260.4	1	1	
d9	154	D98	103.6	257.6	1	1	
d9	154	D910	19.6	173.6	1	1	
d9	154	D911	19.6	173.6	1	1	
d10	151.2	D101	226.8	378	1	0	
d10	151.2	D102	229.6	380.8	1	0	
d10	151.2	D103	229.6	380.8	1	0	
d10	151.2	D104	182	333.2	1	0	
d10	151.2	D105	176.4	327.6	1	0	
d10	151.2	D106	106.4	257.6	1	0	
d10	151.2	D107	103.6	254.8	1	0	
d10	151.2	D108	100.8	252	1	0	
d10	151.2	D109	19.6	170.8	1	0	
d10	151.2	D1011	16.8	168	1	0	63
d11	151.2	D111	226.8	378	0	1	
d11	151.2	D112	229.6	380.8	0	1	
d11	151.2	D113	229.6	380.8	0	1	
d11	151.2	D114	182	333.2	0	1	
d11	151.2	D115	176.4	327.6	0	1	
d11	151.2	D116	106.4	257.6	0	1	
d11	151.2	D117	103.6	254.8	0	1	
d11	151.2	D118	100.8	252	0	1	
d11	151.2	D119	19.6	170.8	0	1	64
d11	151.2	D1110	16.8	168	0	1	

NONA SEQUENCIA

Sigla d entre bloco e alimentador	Distância (m)	Sigla D entre blocos	Distância (m)	Soma d+D (m)	Abertura de frentes	Manobras	Número do bloco
d1	89.6	D12	176.4	266	1	1	
d1	89.6	D13	215.6	305.2	1	1	
d1	89.6	D14	215.6	305.2	1	1	
d1	89.6	D15	210	299.6	1	1	70
d1	89.6	D16	226.8	316.4	1	1	
d1	89.6	D17	224	313.6	1	1	
d1	89.6	D18	235.2	324.8	1	1	
d1	89.6	D19	232.4	322	1	1	
d1	89.6	D110		89.6	1	1	
d1	89.6	D111		89.6	1	1	
d2	98	D21	176.4	274.4	3	1	78
d2	98	D23	92.4	190.4	3	1	
d2	98	D24	131.6	229.6	3	1	
d2	98	D25	128.8	226.8	3	1	
d2	98	D26	232.4	330.4	3	1	
d2	98	D27	229.6	327.6	3	1	
d2	98	D28	240.8	338.8	3	1	
d2	98	D29	243.6	341.6	3	1	
d2	98	D210		98	3	1	
d2	98	D211		98	3	1	
d3	95.2	D31	215.6	310.8	3	0	
d3	95.2	D32	92.4	187.6	3	0	77
d3	95.2	D34	128.8	224	3	0	
d3	95.2	D35	123.2	218.4	3	0	
d3	95.2	D36	232.4	327.6	3	0	
d3	95.2	D37	229.6	324.8	3	0	
d3	95.2	D38	240.8	336	3	0	
d3	95.2	D39	238	333.2	3	0	
d3	95.2	D310		95.2	3	0	
d3	95.2	D311		95.2	3	0	
d4	137.2	D41	215.6	352.8	1	1	
d4	137.2	D42	131.6	268.8	1	1	
d4	137.2	D43	128.8	266	1	1	76
d4	137.2	D45	78.4	215.6	1	1	
d4	137.2	D46	184.8	322	1	1	
d4	137.2	D47	182	319.2	1	1	
d4	137.2	D48	193.2	330.4	1	1	
d4	137.2	D49	190.4	327.6	1	1	
d4	137.2	D410		137.2	1	1	

d4	137.2	D411		137.2	1	1	
d5	131.6	D51	210	341.6	1	2	
d5	131.6	D52	128.8	260.4	1	2	
d5	131.6	D53	123.2	254.8	1	2	
d5	131.6	D54	78.4	210	1	2	
d5	131.6	D56	179.2	310.8	1	2	
d5	131.6	D57	176.4	308	1	2	71
d5	131.6	D58	187.6	319.2	1	2	
d5	131.6	D59	184.8	316.4	1	2	
d5	131.6	D510		131.6	1	2	
d5	131.6	D511		131.6	1	2	
d6	148.4	D61	226.8	375.2	1	2	
d6	148.4	D62	232.4	380.8	1	2	
d6	148.4	D63	232.4	380.8	1	2	
d6	148.4	D64	184.8	333.2	1	2	
d6	148.4	D65	179.2	327.6	1	2	
d6	148.4	D67	14	162.4	1	2	
d6	148.4	D68	114.8	263.2	1	2	
d6	148.4	D69	112	260.4	1	2	73
d6	148.4	D610		148.4	1	2	
d6	148.4	D611		148.4	1	2	
d7	145.6	D71	224	369.6	1	1	
d7	145.6	D72	229.6	375.2	1	1	
d7	145.6	D73	229.6	375.2	1	1	
d7	145.6	D74	182	327.6	1	1	
d7	145.6	D75	176.4	322	1	1	
d7	145.6	D76	14	159.6	1	1	72
d7	145.6	D78	109.2	254.8	1	1	
d7	145.6	D79	106.4	252	1	1	
d7	145.6	D710		145.6	1	1	
d7	145.6	D711		145.6	1	1	
d8	156.8	D81	235.2	392	1	1	
d8	156.8	D82	240.8	397.6	1	1	
d8	156.8	D83	240.8	397.6	1	1	
d8	156.8	D84	193.2	350	1	1	75
d8	156.8	D85	187.6	344.4	1	1	
d8	156.8	D86	114.8	271.6	1	1	
d8	156.8	D87	109.2	266	1	1	
d8	156.8	D89	22.4	266	1	1	
d8	156.8	D810		156.8	1	1	
d8	156.8	D811		156.8	1	1	
d9	154	D91	232.4	386.4	1	1	
d9	154	D92	243.6	397.6	1	1	
d9	154	D93	238	392	1	1	
d9	154	D94	190.4	344.4	1	1	
d9	154	D95	184.8	338.8	1	1	

d9	154	D96	112	266	1	1	
d9	154	D97	106.4	260.4	1	1	
d9	154	D98	22.4	263.2	1	1	74
d9	154	D910		154	1	1	
d9	154	D911		154	1	1	