Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Projeto e construção da torre Merdeka 118 usando concreto de alto desempenho: expandindo os limites da tecnologia do concreto para um edifício de grande altura.

A. K. Abdelrazaq [1]*
* Autor de Contato: aabdelrazaq@riseglobal360.com
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v15i2.808

Recebido: 03/07/2024 | Correções recebidas: 21/03/2025 | Aceito: 24/04/2025 | Publicado: 01/01/2025

RESUMO

Este artigo apresenta a engenharia estrutural, inovações de construção e os principais desafios do projeto e construção do próximo marco da Malásia. Merdeka 118 é um empreendimento misto de grande escala que inclui uma torre mega-alta de 118 andares e 680m de altura, a segunda torre mais alta do mundo. A aplicação eficaz de concreto de alto desempenho classe de até C105, em cubos (ou C90 em cilindros) otimizou significativamente o tamanho dos elementos estruturais e melhorou a economia do edifício, maximizando o espaço interno. O concreto de alto desempenho de até C105/C90 foi aplicado nas paredes do núcleo para otimizar o tamanho dos elementos e melhorar a resistência à gravidade (massa) assim como a capacidade de carga lateral (ventos). Para garantir o fornecimento de HPC ao mais alto nível, foram desenvolvidos rigorosos programas de planejamento, ensaios, e garantia de qualidade/controle de qualidade (QA/QC). Os desafios na Torre Merdeka 118 ultrapassaram os limites da utilização do HPC na Malásia desde as emblemáticas torres gêmeas Petronas Tower.
Palavras-chave: concreto de alto desempenho; cintas estabilizadoras; cinturões (outriggers); edifícios superaltos; núcleo com megacolunas de concreto.

Citar como: Abdelrazaq, A. K. (2025), "*Projeto e construção da torre Merdeka 118 usando concreto de alto desempenho: expandindo os limites da tecnologia do concreto para um edifício de grande altura*", Revista ALCONPAT, 15 (2), pp. 175 – 187, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v15i2.808

[1] Managing Director & Founder, RISE GLOBAL LLC/former EVP Samsung C&T, Chicago, USA
.

Contribuição de cada autor
Neste trabalho, o autor Ahmad K. Abdelrazaq contribuiu com todas as atividades.

Licença Creative Commons
Copyright (2025) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 (CC BY 4.0).

Discussões e correções pós-publicação
Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2026, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2025.

© 2025 ALCONPAT Internacional

Design and construction of Merdeka 118 tower using high performance concrete: Pushing the boundaries of concrete technology for a megatall building.

ABSTRACT

This paper presents the structural engineering, construction innovations and key challenges in the design and construction of Malaysia's next landmark. Merdeka 118 is a large-scale mixed development that includes a 118-storey-679.9m tall mega-tall tower, the second tallest tower in the world. The effective application of High Performance Concrete (HPC) up to C105 has significantly optimized the size of structural elements and improved the economics of the building by maximizing premium floor space. HPC up to C105 has been applied to the mega column and core walls to optimize the size of the elements and improve the gravity and lateral load resisting capability of the elements. To ensure delivery of HPC to the highest standard, extensive planning, testing programs, and quality assurance/quality control (QA/QC) program have been developed. The challenges in Merdeka 118 tower have pushed the boundary of HPC utilization in Malaysia since the Petronas twin towers.

Keywords: high performance concrete, outrigger trusses, belt trusses, supertall buildings, mega concrete columns.

Diseño y construcción de la torre Merdeka 118 con hormigón de alto rendimiento: ampliando los límites de la tecnología del hormigón para un edificio de gran altura.

RESUMEN

Este documento presenta la ingeniería estructural, las innovaciones de construcción y los desafíos clave en el diseño y la construcción del próximo hito de Malasia. Merdeka 118 es un desarrollo mixto a gran escala que incluye una torre mega alta de 118 pisos y 679,9 m de altura, la segunda torre más alta del mundo. La aplicación efectiva de hormigón de alto desempeño (HPC) hasta C105 ha optimizado significativamente el tamaño de los elementos estructurales y ha mejorado la economía del edificio al maximizar el espacio de piso premium. Se ha aplicado HPC hasta C105 a las paredes de la mega columna y el núcleo para optimizar el tamaño de los elementos y mejorar la capacidad de resistencia a la gravedad y la carga lateral de los elementos. Para garantizar la entrega de HPC al más alto nivel, se han desarrollado amplios programas de planificación, programas de pruebas y programas de garantía de calidad/control de calidad (QA/QC). Los desafíos en la Torre Merdeka 118 han superado los límites de la utilización de HPC en Malasia desde las torres gemelas Petronas.

Palabras clave: hormigón de alto desempeño, cerchas estabilizadoras, cerchas de cinturón, edificios superaltos, mega columnas de hormigón.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INFORMAÇÕES GERAIS

A Torre Merdeka 118 é um edifício de grande altura com 118 andares e cinco subsolos. Dentro de 292.000 m^2 de Área Bruta Construída (ABP), a torre consiste em 83 andares de escritórios [L8-L96], 17 andares do Park Hyatt Hotel [L98-L112 com 252 quartos de hóspedes], um shopping center de 7 andares "118 Mall", deck de observação "The View at 118" localizado em 115-116 andares e 5-6 níveis de estacionamento subterrâneo. A Torre é coroada com uma ponteira esbelta de 160,4m em espiral (SPIRE) que inclui espaço para acesso de visitantes com vista de 360º da cidade. Após a conclusão, Merdeka 118 terá 678,90m, tornando-se a estrutura mais alta feita pelo homem na Malásia e na região do Sudeste Asiático, e o segundo edifício mais alto do mundo depois do Burj Khalifa. O design do Merdeka 118 é uma fusão de modernidade e simbolismo cultural. Os planos triangulares de vidro da fachada externa inspiram-se em padrões encontrados nas artes e ofícios malaios, representando a diversidade do povo malaio. O design geral da torre reflete a silhueta de Tunku Abdul Rahaman levantando a mão enquanto entoava "Merdeka", capturando o espírito de independência, liberdade e progresso.

Figura 1Foto da construção do Merdeka 118 em Kuala Lumpur

2. SISTEMA DE RESISTÊNCIA À CARGA LATERAL (VENTOS)

O sistema de resistência à carga lateral da torre é composto por 8 mega colunas, um sistema de núcleo central reforçado, colunas intermediárias de aço, 6 conjuntos de treliças de cintamento e 3 conjuntos de cinta estabilizadoras. A parede central de concreto armado é conectada a 8 mega colunas de concreto armado por meio de 3 conjuntos de treliças estabilizadoras na direção leste-oeste e 2 conjuntos de cintas estabilizadores na direção norte-sul para compor o sistema de resistência de carga lateral da torre. Devido à esbeltez da torre na direção leste-oeste e à profundidade estrutural limitada, o sistema de resistência à carga lateral da torre é governado principalmente pelos requisitos de rigidez em vez de resistência. O projeto original utilizava concreto C85 com agregado de granito local, que tem limitações para atingir o módulo de

elasticidade necessário, exigindo, portanto, um aumento significativo nos tamanhos das mega colunas de acordo com os arranjos do sistema estrutural ou um aumento significativo nas barras de reforço, o que resultou em desafios de construtibilidade. Em vez do concreto C85, o concreto C105/C90, com agregado de basalto, foi deliberadamente selecionado pela Contratada Geral para aumentar significativamente o módulo de elasticidade do concreto, reduzir a armadura de aço estrutural e melhorar a construtibilidade geral do projeto.

A Figura 2 ilustra a disposição do sistema de mega-estrutura lateral e de estabilidade da torre. Além disso, também permitiu o equilíbrio do nível de tensão entre a mega coluna, reduzindo significativamente o encurtamento diferencial entre o núcleo central e as mega colunas. A torre é coroada por um pináculo de aço estrutural de aproximadamente 169 m com variação significativa de formato e ventilada para reduzir os efeitos do vento.

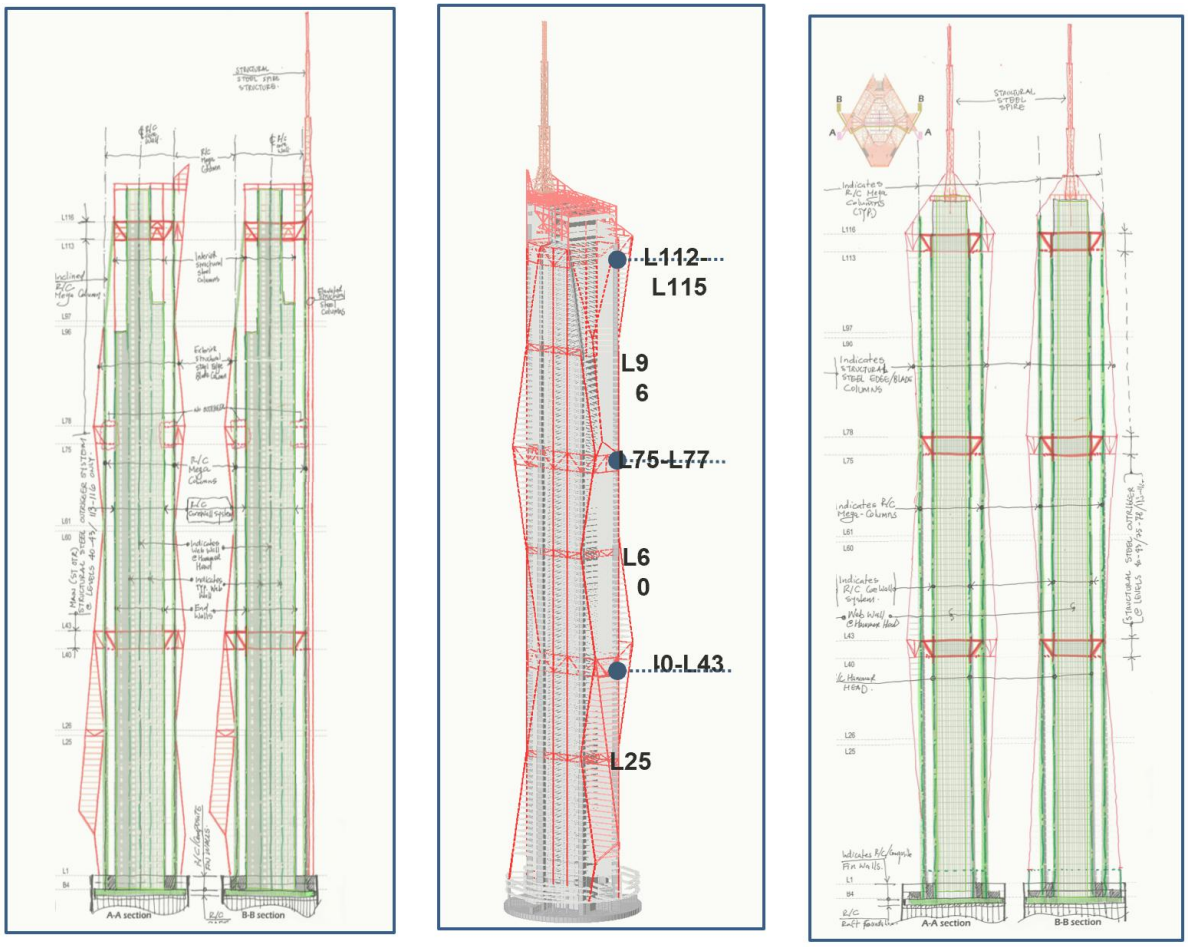

Figura 2a. Merdeka 118: Sistema Estrutural e Sistema Mega-Frame de Estabilidade Lateral

Devido à altura e esbeltez significativas da ponteira ou pináculo em espiral e ao alcance limitado do guindaste de torre, a estrutura de aço da ponteira foi construída usando guindastes de torre a partir do nível da cobertura até o Nível 4. Uma plataforma temporária com sistema de macaco hidráulico foi instalada no nível Nível 4 para concluir a montagem dos dois níveis superiores restantes usando macacos hidráulicos pelo método telescópico.

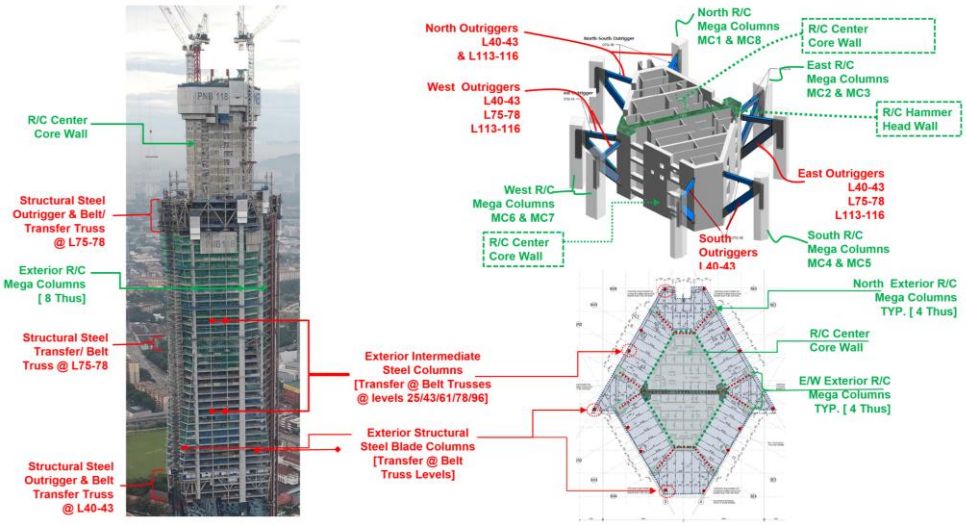

Figura 2b. Merdeka 118: Sistema Estrutural e Sistema Mega-Frame de Estabilidade Lateral

A estrutura do Merdeka 118 tem muitos desafios estruturais que não podem ser abordados em detalhes neste artigo, mas estão resumidos aqui. O detalhamento desses e outros aspectos originais, será abordado e fornecido em publicações futuras.

1. A estrutura do Mega consiste no núcleo central reforçado com vigas tipo cabeça de martelo medindo aproximadamente 7,4m x 4,35m com espessura de até 1,7m, que são conectadas a 8 mega colunas retangulares externas de concreto armado [4,4m x 3,2m] através de 3 estabilizadores estruturais de aço em três zonas [L40-43, L75-78, L13-116]. A otimização do projeto e o gerenciamento do encurtamento diferencial entre esses elementos foram cruciais;
2. O projeto está localizado em um clima quente e o sistema estrutural possui elementos estruturais massivos. O gerenciamento do calor de hidratação e a cura do concreto desses elementos massivos foram essenciais;
3. O projeto conta com seis treliças de cintamento de aço estrutural, que suportam colunas de aço estrutural, que se estendem entre as megacolunas de concreto armado. O movimento diferencial entre as megacolunas e as colunas de aço estrutural apresenta problemas relacionados ao nivelamento do piso e ao programa de compensação de recalques diferenciais. A realização de uma análise detalhada da sequência construtiva para atender o projeto foi de extrema importância, pois também teve impacto direto em componentes não estruturais, especialmente na fachada;
4. A ponteira/pináculo da torre tem 169 m de altura e é uma espiral muito esbelta. O pináculo foi montado na parte inferior e içado até a posição final.
5. O edifício é apoiado sobre um radier sustentado por estacas, com oito vigas baldrame formando aletas de 2,5m, conectando o núcleo central às megacolunas para equalizar a distribuição de carga entre as estacas. A torre é apoiada sobre uma fundação de radier de 4m de altura, sobre 138 estacas de 2m de diâmetro cada uma, estendendo-se a uma profundidade de aproximadamente 78m abaixo do radier;
6. Devido à localização assimétrica do núcleo, espera-se que o edifício se desloque lateralmente mais de 250mm sob as cargas de gravidade. Isso teve um impacto direto no elevador e em outros sistemas do edifício. A gestão do programa e ações para compensação dos assentamentos laterais foi crítica;
7. O projeto é bastante massivo, com 5 a 6 níveis abaixo do solo, cercado por instalações de significativa importância histórica, assentes em fundações com um sistema de metrô adjacente. Portanto, gerenciar a movimentação lateral e vertical era de extrema importância. A construção empregou o método de construir meio andar de cada vez e mais uma vez foi

necessário compatibilizar movimentos diferenciais do edifício. Análises extensivas com o software Plaxis 3D e um programa de monitoramento em tempo real foram implementadas para garantir que a movimentação do edifício, locado muito próximo ao metrô permanecesse dentro do limite de 5mm.

Embora todos os desafios acima não possam ser abordados aqui em detalhes, concentra-se o foco principal deste artigo no rigor do planejamento do concreto para atender ao projeto.

3. PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CONCRETO C105 COM ALTO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Concreto de alto desempenho (C105), com alta resistência e módulo, foi desenvolvido e aplicado com sucesso na Torre Merdeka 118 para minimizar a área da seção transversal e o reforço dos elementos estruturais verticais da torre, aumentando assim a área útil do piso premium, melhorando a construtibilidade e proporcionando desempenho estrutural equivalente. Consulte a Tabela 1 para os tipos de concreto utilizados no projeto.

A seguir são fornecidos os resultados e breves resumos do programa de desenvolvimento da mistura de concreto, incluindo, mas não se limitando, o planejamento cuidadoso para obras de concreto, seleção exigente de materiais, ensaios elaborados de laboratório e de campo, protótipos em larga escala e simulação de bombeamento em altura para atingir o alto desempenho e a alta consistência do concreto. Tecnologias avançadas de materiais foram usadas para atingir a resistência desejada e minimizar a temperatura do concreto devido ao clima quente e à concretagem em grandes volumes. Agregados de basalto foram especialmente utilizados para atingir o módulo de elasticidade do concreto desejado. Aditivos químicos personalizados foram adotados para atingir a trabalhabilidade e a consistência desejadas. Testes extensivos de laboratório e monitoramento da estrutura in loco foram conduzidos para determinar o módulo de elasticidade, os coeficientes de fluência e retração do concreto para previsões mais precisas do encurtamento dos elementos verticais da torre, do movimento lateral da torre sob cargas de gravidade e do desenvolvimento dos programas de compensação de deformações diferenciais.

Tabela 1. Resumo do concreto utilizado no Merdeka 118

Localização	Andar	Elevação (m)	Classe do Concreto (MPa)
Mega Coluna	B4 a L1	46,35	85
	L1 até cobertura	556,63	105
Núcleo Principal	B4 a L1	46,35	85
	L1 a L61	304,32	105
	L61 a L79	381,72	80
	L79 até cobertura	561,25	60

4. PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO E ENSAIOS DE CONCRETO C105

O desenvolvimento do concreto de alto desempenho C105 com elevado abatimento, baixa viscosidade, alta resistência, alto módulo de elasticidade, calor de hidratação mínimo, e adequado para bombeamento do concreto em altitudes elevadas, assim como a concretagem in loco de elementos massivos representou um grande desafio e nunca foi realizado antes na Malásia. A Tabela 2 abaixo apresenta um resumo dos requisitos técnicos específicos do C105, definidos pela Construtora do Merdeka 118, para atender aos requisitos de campo e o desempenho do projeto estrutural.

Tabela 2. Resumo dos Requisitos Técnicos do Concreto C105

Ítem	Requisitos
Resistência característica	105 MPa cubo ou 95 MPa cilindro aos 56 dias (tolerância ±15 MPa)
Módulo de Elasticidade	40,5 GPa em 28 dias ou 45,3 GPa em 91 dias (tolerância ± 20%)
Auto adensável espalhamento	525mm a 675mm
Temperatura	Temperatura de pico[1] ≤ 78°C, (temperatura de lançamento ≤ 23°C)

Para atingir o concreto C105, foi necessária uma extensa pesquisa prévia e um planejamento cuidadoso na seleção e no fornecimento do material, a fim de atender aos requisitos mecânicos e de desempenho especificados para o projeto. A seguir, um resumo do material utilizado no Merdeka 118.

Seleção de Matérias-Primas: A maioria das matérias-primas do concreto C105 foi adquirida localmente na Malásia e seus resultados históricos de ensaios foram estudados antes da aplicação. Além disso, as matérias-primas foram amostradas e testadas por um laboratório terceirizado independente para verificar a conformidade durante os ensaios em laboratório, ensaios em planta e produção real em intervalos regulares. Todas as matérias-primas utilizadas neste projeto foram cuidadosamente revisadas e selecionadas considerando a qualidade, a consistência e a disponibilidade para otimizar o projeto da mistura.

Seleção de Materiais Cimentícios: Cimento fabricado pela Lafarge Holcim em Kanthan, Malásia, em conformidade com a norma MS EN 197-1 (CEM I 52.5N). A escória granulada de alto-forno moída (GGBS) é proveniente da Rizhao, na China, em conformidade com a norma SS EN 15167-1:2008. A microssílica utilizada nas misturas é a densificada 920, fabricada pela Elkem, na Tailândia.

Seleção do Agregado: O agregado miúdo é proveniente de areia de mineração de Batang Berjuntai. O agregado miúdo é duplamente lavado, e o módulo de finura médio é 3,2. Agregado graúdo de basalto de 14 mm originário de Segamat, Johor, também foi selecionado para o projeto da mistura para atingir alto módulo de elasticidade de concreto com um módulo mínimo de 47-49 GPa em 91 dias. Para verificar a consistência e a qualidade do agregado de basalto, as rochas foram amostradas durante visitas ao local da pedreira, conforme mostrado na Figura 3. Além disso, exames petrográficos foram realizados e confirmaram que as amostras de rocha são basalto de granulação fina, sem minerais deletérios e adequadas para concreto C105.

Figura 3. Pedreira de basalto em Segamat, Johor, Malásia.

Selection of Admixture: New generation of polycarboxylate polymers (PCE) based

[1] Observação: no Brasil é aconselhável que a temperatura de pico não sobrepasse 65ºC para reduzir os riscos de formação de DEF, ou seja, formação de etringita tardia que é expansiva e causa fissuração.

superplasticizer was selected. This admixture is specially developed for concrete where fast strength development, high dispersion and retention are required. Application of the admixture is useful for high flowing concrete to be compacted in congested reinforcement areas.
Seleção do Aditivo: Foi selecionada uma nova geração de superplastificantes à base de polímeros de policarboxilato (PCE). Este aditivo foi especialmente desenvolvido para concretos que exigem rápido desenvolvimento de resistência, alta fluidez e capacidade de manutenção da trabalhabilidade. A aplicação do aditivo é fundamental para obter concretos de alta fluidez a serem compactados em áreas com taxas elevadas de armadura.
Testes de laboratório e de trilha de planta: Para otimizar o projeto da mistura (traço) e as proporções, inúmeras matérias-primas de diferentes fontes foram identificadas, e os materiais foram avaliados pela condução de testes experimentais com diferentes proporções de materiais para investigar as propriedades frescas e endurecidas do concreto. Testes semi-adiabáticos foram conduzidos para comparar o aumento de temperatura de cada mistura de concreto. O aumento de temperatura no concreto C105 foi controlado pela otimização do conteúdo total de cimento, até 550 kg/m^3, e utilizando GGBS até 50%, mantendo a sílica ativa em 10%. A proporção ideal da mistura foi identificada por meio de testes paramétricos por ensaios internos de laboratório e pela condução de testes semi-adiabáticos. Consulte a Tabela 3 C105 para detalhes do projeto da mistura (traço).

Tabela 3. Proporções do traço (mistura) de concreto C105, onde GGBS é (escória granulada de alto forno)[2]

Tipo	água / ligante a/l	adição/cimento (%)	massa unitária dos materiais (kg/m^3)					Aditivo(%)
			água	ligante	Cimento Portland	GGBS	microssílica	
C105L	0,263	50%	145	550	247	248	55	1,85
C105M	0,263	50%	150	570	228	285	57	1,55
C105H	0,263	50%	158	600	240	300	60	1,35

Todos as dosagens realizadas em laboratório, com antecedência, e apresentadas na Tabela 3, atingiram resistência à compressão cúbica superior a 105 MPa aos 28 dias. Ensaios de trabalhabilidade e viagens protótipo também foram realizados com sucesso e estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Resultados do concreto fresco C105.

Tipo	Espalhamento (mm)			T500 (segundos)		
	Inicial	1 h	2 h	Inicial	1 h	2 h
C105L	650/650	620/610	610/600	6.0	9.0	8.0
C105M	630/640	630/630	610/610	6.2	7.7	7.6
C105H	620/630	640/640	610/620	5.8	7.3	6.6

Tabela 5. Resultados do concreto endurecido

Tipo	Resistência à compressão no cubo (MPa)				Módulo de Elasticidade (GPa)			
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias
C105L	88,2	105,1	116.1	116,4	40,9	47,0	47,9	-
C105M	86,7	109,6	111,0	114,9	44,2	48.1	-	49,8
C105H	86,5	105,3	110,6	115,0	42.1	46.1	-	47,9

Os resultados dos ensaios de campo (protótipos), apresentados na Tabela 4, confirmaram que o

[2] Os autores não declaram mas é bem provável que as letras L, M e H correspondam: L a concretos destinados aos primeiros andares, M aos andares intermediários, e H aos últimos andares mais elevados.

C105 apresenta um espalhamento consistente, sem segregação e exsudação, e permaneceu dentro do espalhamento desejado durante 2 h de manutenção. A baixa viscosidade do concreto C105 manteve-se consistentemente até 2 h de manutenção. A Tabela 5 também mostra que a resistência à compressão e o módulo de elasticidade do C105 ultrapassaram 105 MPa e 46 GPa já aos 28 dias, respectivamente.

Teste de calor de hidratação C105: Testes de bloco padrão adiabático aquecido também foram realizados para confirmar o aumento de temperatura dos 3 diferentes traços de concreto C105L, C105M, C105H durante o processo de hidratação, em condições similares, conforme resultados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do monitoramento de temperatura do bloco aquecido

Traço	**Temperatura (°C)**		
	Inicial	**Pico**	**Gradiente**
C105L	25,4	73,9	48,5
C105M	23,4	73,3	49,9
C105H	23,7	73,8	50,2

Além dos ensaios de bloco aquecido para todas as misturas de concreto C105, foi realizado um ensaio em escala real, equivalente ao tamanho da megacoluna [4,05x3,20x4,30]m, para verificar as características do concreto fresco e do concreto endurecido. Nitrogênio líquido foi utilizado para reduzir a temperatura do concreto fresco, garantindo que a temperatura inicial estivesse dentro da temperatura desejada antes da concretagem. Após a desforma, a manta térmica foi fixada nos 4 lados e o saco de estopa úmido foi utilizado para cobrir a superfície superior para a cura do concreto, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4. Protótipo do calor de hidratação em escala real de mega coluna.

O aumento de temperatura do protótipo em escala real da megacoluna foi monitorado por 14 dias usando extensômetros de fio vibratório de alta frequência e os dados foram plotados em tempo real, conforme mostrado na Figura 5, e disponibilizados a todas as partes interessadas. A temperatura máxima medida permaneceu dentro de 72° C com uma variabilidade de temperatura máxima de 18 °C, cumprindo assim com os requisitos de especificação do projeto Merdeka 118. Os resultados do protótipo em escala real para a megacoluna mostraram que a metodologia de construção proposta para a megacoluna, incluindo o tipo de fôrma, plano de monitoramento de temperatura, plano de controle de temperatura, plano de desmoldagem da fôrma e plano de cura, foram alcançados com sucesso. O método de construção do protótipo em escala real da megacoluna, os planos de monitoramento e cura foram executados de forma completa e com sucesso.

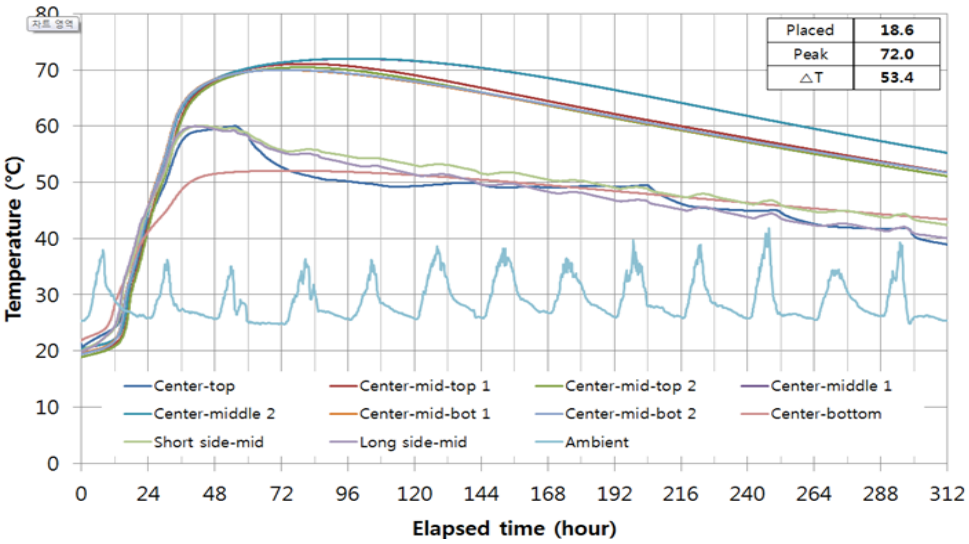

Figura 5. Resultado do monitoramento do aumento de temperatura do protótipo em escala real da mega coluna.

Testes e planejamento de bombeamento de concreto: O bombeamento de concreto de alta resistência em grandes estruturas para a construção de elementos verticais é extremamente desafiador, especialmente em países de clima quente como a Malásia. No projeto Merdeka 118, o C105 foi planejado para ser bombeado a 510 m usando bombeamento direto, o que o tornou um novo recorde mundial. Antes da construção propriamente dita, um teste de bombeamento em larga escala foi realizado usando uma bomba estacionária Putzmeister BSA 14000 SHP para demonstrar a bombeabilidade do C105 e suas habilidades de operação. Mais de 550 m de tubulação horizontal foram instalados, conforme mostrado nas Figuras 6 e 7, para avaliar efetivamente as perdas por atrito na tubulação e a eficácia das demandas de pressão da bomba para levar o C105 a 510 m.

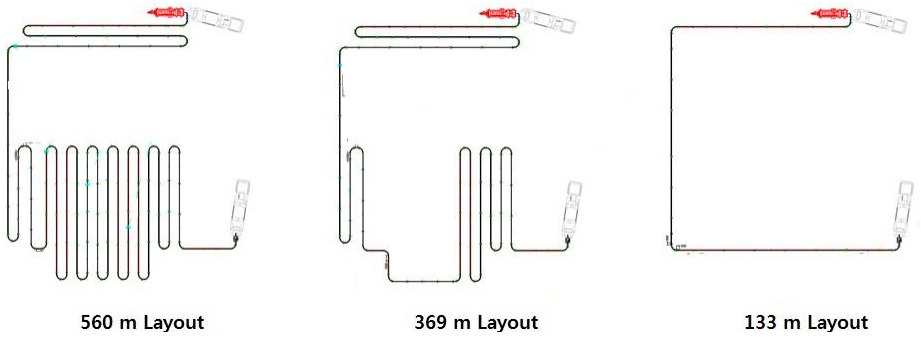

Figura 6. Layout da tubulação e localização do sensor de pressão.

Figura 7. Layout de tubulação horizontal de concreto C105 para teste de bombeamento.

Os concretos C105L, C105M e C105H com três comprimentos de tubulação diferentes foram adotados para o teste de bombeamento. A pressão de bombeamento e a vazão de concreto foram

medidas e tabuladas na Tabela 7 .

Tabela 7. Resultados do teste de bombeamento de concreto C105

traço	extensão (m)	stroke (golpes do pistão) (número)	pressão hidráulica (MPa)	pressão do concreto (MPa)	vazão (m^3/h)
C105L	560	8,0	17,1	10,2	20,4
		10,9	25,0	15,8	28,7
C105M	369	7,0	15,8	9,6	18,5
		13,2	26,1	16,5	35,4
C105H	133	10,2	11,0	5,5	27,4
		17,4	15,4	8,1	50,9

Além de determinar as perdas por atrito, os testes de bombeamento de concreto C105 incluíram planos para testar o comportamento do concreto antes e depois do bombeamento. O teste de bombeamento de concreto C105 resultou nass seguinte observações, que foi considerada no planejamento das obras de bombeamento de concreto até 510 m.

1. O espalhamento do concreto e a viscosidade são reduzidos após o bombeamento; esse fenômeno é devido principalmente à liberação de água e de ar retidos entre as partículas de cimento sob bombeamento de alta pressão.
2. Não houve diferença significativa na resistência do concreto ou no módulo de elasticidade antes e depois do bombeamento.
3. A temperatura do concreto aumentou após o bombeamento em cerca de 5 a 10 °C, dependendo do comprimento do tubo, em parte devido à insolação ambiente durante o teste. O aumento real da temperatura durante a construção será menor, com base em experiências anteriores, visto que a tubulação será instalada dentro do edifício, na sombra, com temperatura ambiente mais baixa.
4. As perdas por atrito na tubulação foram determinadas diretamente a partir do teste da bomba. Essas perdas por atrito serão equivalentes às da tubulação vertical. Para determinar a capacidade da bomba, a pressão necessária será igual ao peso da coluna de concreto somada às perdas por atrito na tubulação.Em resumo, o teste de bombeamento de concreto C105 foi bem-sucedido e confirmou que o bombeamento direto para o andar mais alto a 510 m era possível ser empregado e a taxa de descarga de concreto alvo foi confirmada conforme mostrado na Tabela 7.

Planejamento para Ensaios de Fluência e Retração: O encurtamento diferencial de elementos verticais em edifícios altos devido à elasticidade, fluência e retração do concreto pode ter impacto adverso na distribuição de forças e na operacionalidade do edifício. Assim, para avaliar efetivamente o encurtamento de colunas devido aos efeitos de elasticidade, fluência e retração nos elementos verticais do Merdeka 118, incluindo a parede central com cabeça de martelo e as megacolunas externas, um extenso programa de ensaios de fluência e retração em tempo real foi implementado para confirmar todas as propriedades mecânicas de todos os tipos de concreto usados nos elementos verticais da torre, a fim de avaliar e prever o encurtamento de colunas, o movimento lateral da torre sob cargas de gravidade e desenvolver um programa de compensação para obter pisos nivelados. Os ensaios de fluência e retração para todos os materiais de concreto usados nos elementos verticais da Torre Merdeka 118 começaram em 7 de dezembro de 2017 com as variáveis de teste mostradas na Tabela 8, que estavam diretamente relacionadas às condições esperadas da torre, como idade, condições de exposição, nível de carga e período de ensaio.

Todos os corpos de prova de concreto para os elementos verticais foram amostrados, curados e embalados na planta Merdeka 118 e entregues a um laboratório independente na Coreia do Sul. Os

corpos de prova foram desembalados e armazenados em câmara de umidade e temperatura constantes até a idade de teste pretendida. Ensaios de compressão e módulo de elasticidade dos corpos de prova foram conduzidos para avaliar a integridade dos cps e estimar o valor de carga para o teste de fluência. Os cps de concreto foram preparados e selados de acordo com as condições de exposição antes do carregamento para o ensaio de fluência. Os extensômetros primários foram embutidos no cp de concreto para fornecer medição em tempo real da deformação. O extensômetro mecânico desmontável externo (DEMEC) foi instalado nos cp de referência. Todos os cps foram carregados continuamente de acordo com a condição de carga mostrada na Tabela 8. Para controle de qualidade, os resultados de deformação medidos dos cps de concreto C105 foram registrados em intervalos regulares usando extensômetro embutido e DEMEC.

Tabela 8. Programa e variáveis do ensaio de fluência e retração

Variáveis	**Tipo**
Idade	28, 56, 90, 180 dias
Exposição	Selado / Não selado
Carregamento	15% e 25% do fck
Duração	1 ano e 3 anos

Um sistema de monitoramento em tempo real de última geração foi criado para o programa de ensaios de fluência e retração, conforme as Figuras 8 e 9, e disponibilizado à equipe do projeto para revisão e download dos dados brutos de deformação, juntamente com informações sobre carga, temperatura e umidade relativa durante todo o período de ensaio. Os ensaios de fluência e retração foram comparados com os resultados do monitoramento de campo. Os resultados dos ensaios de fluência e retração foram analisados detalhadamente e comparados com as normas, sendo utilizados para prever o encurtamento das colunas por meio de uma análise detalhada da sequência de construção que reflete o programa de construção atual. Um resumo das previsões da análise da sequência de construção, da deformação total real e do movimento vertical e lateral da edificação, utilizando os parâmetros de fluência e retração a partir dos resultados dos ensaios, será publicado futuramente. Os resultados de fluência e retração também foram comparados com normas internacionais e códigos de modelo, e constatou-se que há grandes variações, conforme mostrado na Figura 9 abaixo, que também serão discutidas em publicações futuras.

Figura 8. Ensaios de fluência e retração em tempo real sob ambiente totalmente controlado. Seul, Coreia.

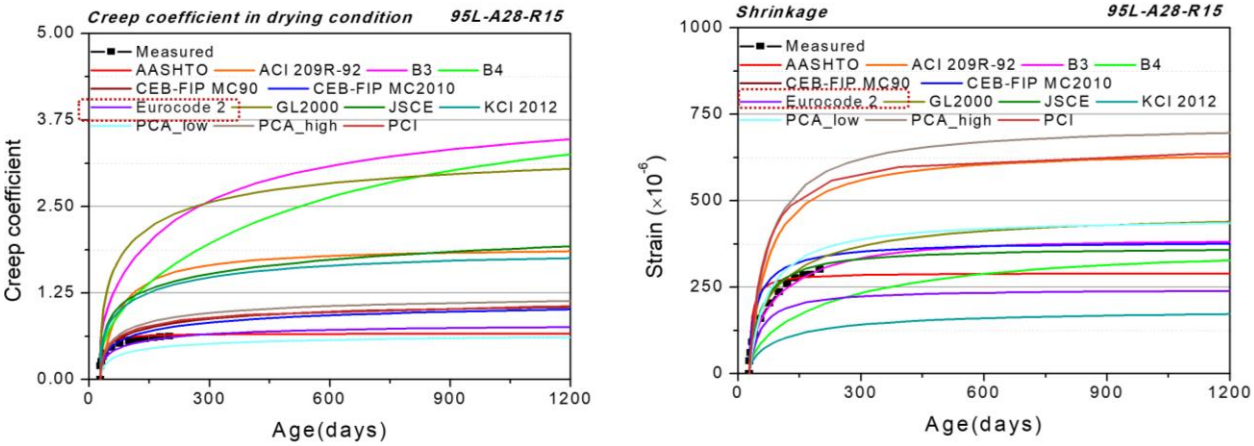

Figura 9. Ensaios de fluência e retração em tempo real sob ambiente totalmente controlado. Seul, Coreia.

Uma experiência única na vida. Um projeto de construção nacional do qual toda a "Anak-Anak Malásia"[3] se orgulhará por gerações. O Merdeka 118, uma torre de escritórios e hotel de 118 andares, com uma altura total de 678 m, é um ícone nacional. Este ícone nacional tornou-se o edifício mais alto da Malásia e o segundo mais alto do mundo após sua conclusão. No projeto da Torre Merdeka 118, mais de 80.000 m³ de concreto C105 foram lançados com sucesso e bombeados até 510 m acima do solo. As grandes conquistas do desenvolvimento do concreto C105, com alta resistência, alto módulo de elasticidade, alto desempenho, excelente bombeabilidade por bombeamento vertical direto único até o topo do arranha-céu para a concretagem in loco de elementos massivos, o calor de hidratação controlado dentro dos limites de temperatura e a total conformidade com os requisitos do projeto e as normas, foram pioneiras na Malásia.

5. AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento e a aplicação bem-sucedidos do concreto de alto desempenho C105 no arranha-céu Merdeka 118 Tower foram realizados graças ao excelente trabalho em equipe do projeto. Os autores gostariam de agradecer especialmente à PNB Merdeka Ventures Sdn . Berhad, proprietária da Merdeka 118 Tower, Turner International, Arup Juruunding. Sdn Bhd , Construction Technology Group do escritório de Seul da Samsung C&T, Samsung C&T UEM JV e Lafarge Malaysia por suas contribuições ao desenvolvimento e aplicação bem-sucedidos do concreto de alto desempenho C105 na icônica Torre Merdeka 118.

6. REFERÊNCIAS

Abdelrazaq, A. (2013), *Early Planning of the Concrete Work at Burj Khalifa*, RN Raikar Memorial & Symposium on Advances in Science and Technology of Concrete, American Concrete Institute, 20-21 December 2013.

Ki, J.-H., Lee, S.-H. (2004), *Application of High Performance Concrete in Petronas Twin Tower*, KLCC (CTBUH Research Paper, CTBUH 2004 Seoul Conference).

Aldred, J. (2010), *Burj Khalifa-A New High for High Performance Concrete* (ICE Civil Engineering 163) p 77-73.

[3] "Anak-Anak Malaysia" é uma expressão malaia que significa "Filhos da Malásia". É uma forma afetiva de referir-se a todos os cidadãos da Malásia enfatizando sua unidade e diversidade.